ISSN 1694-6065

ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР
НАН КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

КОМИТЕТ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКЕ КЫРГЫЗСТАНА

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ

ПРОГНОЗ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ГОРНЫХ УДАРОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОРОДНОМ МАССИВЕ

Материалы
Второго Международного симпозиума,
посвящённого 75 - летию НАН КР

ЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
2018 г

БИШКЕК-2018

ISSN 1694-6065

ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР
НАН КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

КОМИТЕТ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКЕ КЫРГЫЗСТАНА



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ

ПРОГНОЗ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ГОРНЫХ УДАРОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОРОДНОМ МАССИВЕ

Материалы
Второго Международного симпозиума,
посвящённого 75 - летию НАН КР

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
№ 33 (3), 2018 г

БИШКЕК-2018

Журнал издается
с января
2001 года
Выходит 4 раза в год

Учредитель:
Институт геомеханики
и освоения недр
Национальной
Академии наук
Кыргызской
Республики.

Адрес редакции:
Кыргызская
Республика,
г. Бишкек,
ул. Медерова, 98,
тел: +996 312 54 11 15,
+996 312 54 11 17,
+996 554 62 40 68
факс:+996 312 54 11 17

Журнал
зарегистрирован в
Министерстве
юстиции КР
Свидетельство
№ 2179 от 25.03.2016

ISSN 1694-6065

Подписано к печати
17.08.2018 г.
Тираж 200 экз.
Заказ 609

Отпечатано в
типографии КГУСТА

Рецензируемое научно-периодическое издание

Редакционная коллегия:

Главный редактор
К.Ч. Кожогулов, член-корр. НАН КР, д.т.н., профессор, ifmgp@yandex.ru

Ответственный секретарь
А.К. Орозобекова, к.ф.-м.н., с.н.с., oakk@mail.ru

Члены редколлегии

Айтматов И.Т. –акад. НАН КР, д.т.н., проф
Жайнаков А.Ж.- акад. НАН КР, д.ф.-м.н., профессор
Бримкулов У.Н-член-корр. НАН КР, докт.техн.наук, профессор
Жаманбаев М.Ж - д.ф.-м.н., профессор
Чечейбаев Б.Ч.- д.ф.-м.н., профессор
Бийбосунов Б.И.- д.ф.-м.н., профессор
Рудаев Я.И.- д.ф.-м.н., профессор
Чормонов М. Б.- д.ф.-м.н., профессор
Рычков Б.А.- д.ф.-м.н., профессор
Исманбаев А.И. д.ф.-м.н., профессор
Бийбосунов А.И.- д.ф.-м.н.
Жусупбаев А.Д.- д.ф.-м.н., профессор
Кабаева Г.Д. - д.ф.-м.н.
Тажибаев К.Т. – д.т.н., профессор
Никольская О.В. - д.т.н.
Толобекова Б. - д.т.н.
Жолдошев Б.О. - д.т.н.

Материалы напечатаны с оригиналов авторов. Журнал индексируется в библиографической базе РИНЦ.

УДК 531
ББК 22.25

© Институт геомеханики и освоения недр НАН КР и Комитет по теоретической и прикладной механике Кыргызстана, 2018

ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
ЦЕНТРАЛЬНО - АЗИАТСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ НАУК О ЗЕМЛЕ
ПРОЕКТНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ
ОСОО ШЕРОЙ АНАРБАЕВ М.А.

Прогноз и предупреждение горных ударов и землетрясений, мониторинг деформационных процессов в породном массиве

Материалы
Второго Международного симпозиума, посвящённого
75 - летию НАН КР

10-12 сентября 2018 г.

Forecast and prevention of rock bursts and earthquakes, monitoring of deformation processes in the rock massif

Materials
The Second International Symposium on
75 th anniversary of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic

10-12 September 2018

г. Бишкек

УДК 531
ББК 22.25

Редактор - доктор технических наук, профессор *Т.К. Тажибаев*

Современные проблемы механики № 33 (3), 2018. Сб. материалов Второго Международного симпозиума **«Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений, мониторинг деформационных процессов в породном массиве»,** г. Бишкек, 10-12 сентября 2018 г. Бишкек: НАН КР, 2018. - 457 с.

ISSN 1694-6065

В сборнике материалов Второго Международного симпозиума «Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений, мониторинг деформационных процессов в породном массиве» представлены научные статьи, нацеленные на поиск новых научных решений в области снижения риска природных и техногенных катастроф в сейсмоактивных регионах и при разработке удароопасных месторождений полезных ископаемых. Рассматривались вопросы геологических особенностей массива горных пород сейсмоактивных регионов, проблемы сейсмологии, сейсмостойкого строительства, палеосейсмологии, геомеханики удароопасных месторождений, геофизики и тектонофизики, представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований деформаций, остаточных напряжений, напряженного состояния и разрушения горных пород, прогноза и снижения сейсмического риска тектонических горных ударов и землетрясений. В статьях представлены новые подходы и научные направления по решению актуальных проблем геомеханики и сейсмологии, нацеленные на обеспечение безопасности жизнедеятельности людей живущих в сейсмоактивных регионах.

ISSN 1694-6065

УДК 531
ББК 22.25

ПРЕДИСЛОВИЕ

Второй международный симпозиум «Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений, мониторинг деформационных процессов в породном массиве» проводится с целью поиска новых научных решений в области снижения риска природных и техногенных катастроф в сейсмоактивных регионах и при разработке удароопасных месторождений полезных ископаемых. В работе симпозиума принимали участие исследователи из России, Украины, Германии, Казахстана, Узбекистана, Кыргызстана, Азербайджана, Дагестана, городов Москвы, Киева, Потсдама, Алматы, Ташкента, Баку, Бишкека, Петропавловск - Камчатский, Апатиты, Екатеринбурга, Перми, Махачкалы, Петрозаводска, Кара-Кола. Обсуждались вопросы геологических особенностей массива горных пород сейсмоактивных регионов, проблемы сейсмологии, сейсмостойкого строительства, палеосейсмологии, геомеханики удароопасных месторождений, геофизики и тектонофизики, представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований деформаций, остаточных напряжений, напряженного состояния и разрушения горных пород, прогноза и снижения сейсмического риска в сейсмоактивных регионах при освоении удароопасных месторождений. Рассматривались также особо актуальные вопросы о влиянии ядерных взрывов на структурное и напряженное состояние массива горных пород. В статьях представлены новые подходы и научные направления по решению актуальных проблем прогноза и предотвращения горных ударов и землетрясений. Накоплены новые знания по детальному пониманию механизма и основных причин тектонических горных ударов и землетрясений. В целях снижения риска и предотвращения природных землетрясений путем ступенчатой разгрузки опасных напряжений камуфлетными взрывами вместо промышленных взрывов было рекомендовано применение глубинных взрывов ядерных зарядов. Применение камуфлетных, безопасных взрывов ядерных зарядов для разгрузки напряжений и предотвращения тектонических землетрясений в сейсмоактивных регионах, особенно в зонах многомиллионных городов, целесообразно для конверсии и утилизации накопленного ядерного арсенала, и использования этого опасного оружия массового уничтожения людей, наоборот, для сохранения жизни сотни тысяч людей, предотвратив катастрофические землетрясения. Необходимость продолжения работ по проблеме прогноза и снижения риска природных и техногенных катастроф будет способствовать объединению интеллектуальных усилий исследователей разных профессий многих стран планеты по данному научному направлению.

Тажибаев К.Т. докт. техн. наук, профессор, академик Международной академии авторов научных открытий и изобретений, Инженерной академии КР, Заслуженный деятель науки КР.

УДК 550.34:556.3

ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ: ПРИМЕРЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА

Г.Н. Копылова
Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (КФ ФИЦ ЕГС РАН)

Представлены результаты изучения гидрогеодинамических предвестников землетрясений с $M = 6.9\text{-}7.8$ по данным наблюдений 1996-2018 гг. за вариациями уровня воды в скважинах на территории Камчатки. В докладе рассматриваются пространственно-временные особенности проявления гидрогеологических предвестников и их использование для среднесрочного прогноза сильных землетрясений.

Ключевые слова: скважина, уровень воды, землетрясение, предвестник, сейсмический прогноз, Камчатка

HYDROGEODYNAMIC PRECURSORS OF STRONG EARTHQUAKES IN KAMCHATKA: EXAMPLES AND USE FOR THE SEISMIC FORECAST

G.N. Kopylova
Kamchatka branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (KB GS RAS)

Results of investigation of hydrogeodynamic precursors before earthquakes with M=6.9-7.8 on water level observations 1996-2018 in wells of Kamchatka are presented. Spatial-temporal features of manifestation of hydrogeodynamic precursors and their use for the medium-term forecast of strong earthquakes are considered in the report.

Keywords: well, water level, earthquake, precursor, seismic forecast, Kamchatka

Введение

Измерение вариаций уровня воды в скважинах дает возможность проследить реакцию давления подземных вод при деформации водовмещающих пород в диапазоне периодов от секунд - минут до десятков - сотен суток. Механизмами таких изменений давления могут

быть квазиупругая деформация водовмещающих пород, развитие в них трещинной дилатансии и других процессов изменения их емкости и проницаемости [1, 2]. Чувствительность давления подземных вод к изменениям напряженно-деформированного состояния земной коры определяет использование уровнемерных данных при изучении лунно-солнечных приливных процессов, эффектов распространения сейсмических волн, вулканических извержений, движений по разломам и гидрогеодинамических предвестников землетрясений (далее ГП) [3].

КФ ФИЦ ЕГС РАН с 1996 г. проводит наблюдения в двух скважинах: Е-1 (глубина 665 м, интервал вскрытия водовмещающих пород 625-645 м) и ЮЗ-5 (800 м, 310-800 м), с использованием системы цифровой регистрации уровня, температуры и электропроводности воды. Измерения параметров подземных вод, атмосферного давления и температуры воздуха осуществляются с периодичностью 5 минут. Описание скважин и оборудования приводится в [4] и на сайте КФ ФИЦ ЕГС РАН по адресу http://www.emsd.ru/lgi/places/. Цель проводимых исследований - изучение сигналов подготовки землетрясений, других эффектов сейсмичности и геодинамической активности в изменениях параметров подземных вод.

За время наблюдений на расстояниях до первых сотен км от скважин происходили землетрясения с величинами магнитуд до 7.8, перед которыми проявлялись ГП в форме различных аномальных изменений уровня воды. При обнаружении ГП в режиме реального времени, составлялись прогнозные заключения и передавались в экспертный совет по прогнозу землетрясений при КФ ФИЦ ЕГС РАН. Такие заключения использовались при составлении среднесрочных оценок опасности сильных землетрясений в Камчатском крае по комплексу сейсмопрогностических данных [5, 6].

В докладе приводятся примеры проявления ГП в изменениях уровней воды в скважинах Е-1 и ЮЗ-5 в связи с наиболее сильными землетрясениями (M_w=6.8 – 7.8); рассматриваются особенности и пространственно-временные масштабы проявления ГП. Показана возможность использования ГП для среднесрочного прогнозирования времени сильных землетрясений в Камчатском регионе.

Гидрогеодинамические предвестники

Кроноцкое землетрясение 05.12.1997 г., M_w = 7.8 (КЗ). Наблюдательные скважины располагались на эпицентральном расстоянии d_e = 200 км в зоне сотрясений с интенсивностью 5-6 баллов по шкале *MSK-64*. В связи с КЗ зарегистрированы вариации уровня воды на стадиях его подготовки, статического перераспределения напряженного состояния водовмещающих пород при образовании разрыва в очаге и прохождения сейсмических волн (рис. 1) [7, 8].

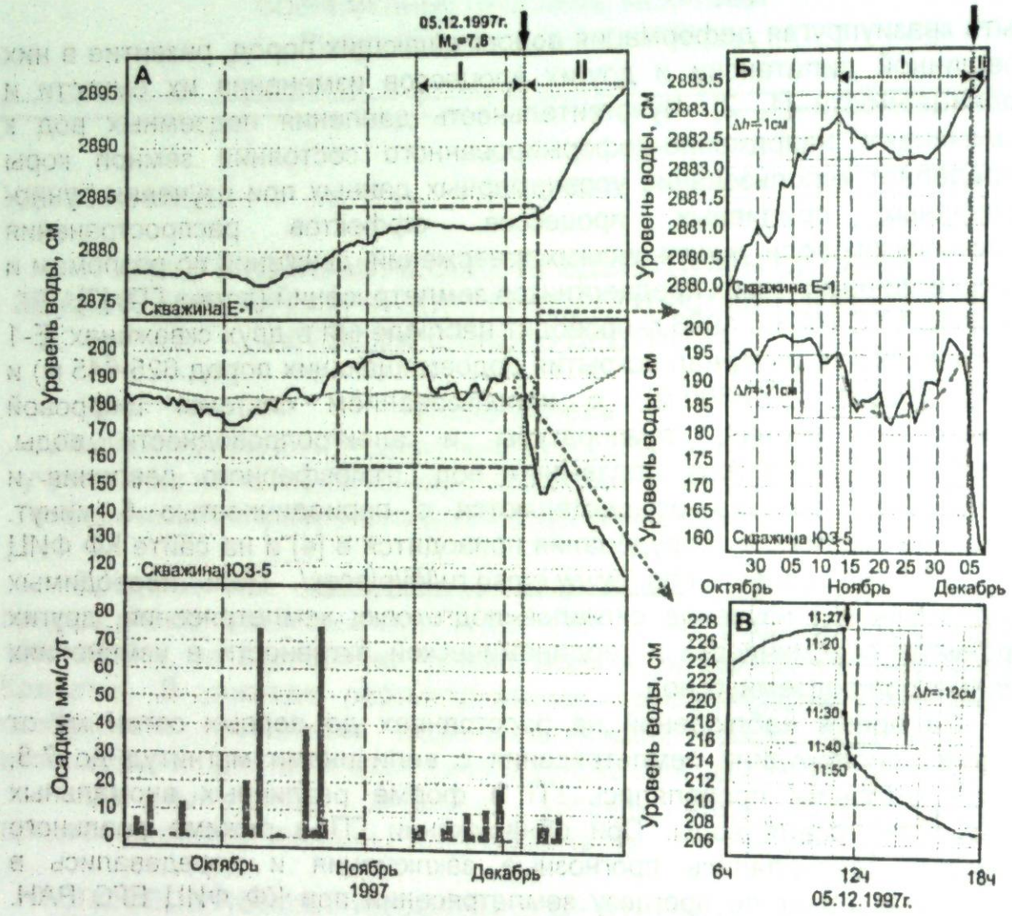


Рис. 1. А – Изменения уровня воды в скважинах Е-1 и ЮЗ-5 в период Кроноцкого землетрясения 05.12.1997 г., M_w = 7.8 (показано стрелкой): цифрами I и II выделены интервалы времени проявления гидрогеодинамического предвестника КЗ (I) (врезка Б) и косейсмического скачка понижения уровня воды в скв. ЮЗ-5 (II) (врезка В: 11:27 – время вступления сейсмических волн). Δh – выделенные амплитуды изменений уровня воды.

В течение трех недель перед КЗ наблюдалось понижение уровня воды в обеих скважинах, выделенное в гидрогеодинамический предвестник (рис. 1А, Б). В скв. ЮЗ-5 амплитуда понижения уровня составила Δh = -11 см, в скв. Е-1 Δh = -1 см. ГП в обеих скважинах проявлялся синхронно с горизонтальными перемещениям GPS-станций камчатской сети KAMNET на расстояниях до первых сотен км от очага. Такие перемещения были выделены в деформационный предвестник КЗ [9]. С использованием уровнемерных, деформометрических и сейсмологических данных показано, что перед КЗ происходило объемное расширением водовмещающих пород в районах скважин с амплитудой $D_t = 7 \cdot 10^{-8}$ вследствие асейсмических движений в области будущего очага [8].

После образования разрыва в очаге КЗ произошло скачкообразное понижение уровня с амплитудой Δh = -12 см (рис. 1 В), показывающее реакцию давления подземных вод на объемное расширение водовмещающих пород. Величина объемной косейсмической деформации по уровнемерным данным составляла $D_t = 8 \cdot 10^{-8}$ и согласовалась с ее оценкой в районе скважины по модели протяженного дислокационного источника с параметрами очага СМТ [8, 10]. Воздействие сейсмических волн на состояние системы «скважина – водовмещающая порода» при КЗ сопровождалось вариациями уровней воды в обеих скважинах в течение месяцев – первых лет (рис. 1 А).

Сильные землетрясения 2013 г. В 2013 г. в южной части Камчатской сейсмоактивной зоны произошла серия сильных землетрясений с максимальными магнитудами M_w = 6.8 (28.02.2013 г.) и M_w = 8.3 (мантийное Охотоморское землетрясение 24.05.2013 г.) [11]. Эти землетрясения, а также другие сейсмические события 2013 г. с $M_w \geq 6.0$, сопровождались косейсмическими скачками повышения и понижения уровня воды в скв. ЮЗ-5 [4] (рис. 2Б, В), по которым оценивались амплитуды (D_t = ед.$\cdot 10^{-9}$ - ≈1$\cdot 10^{-7}$) и характер косейсмической объемной деформации в районе скважины [12]. Характер деформации определялся по направлению скачка уровня воды: повышение указывало на развитие деформации объемного сжатия водовмещающих пород, понижение уровня – на развитие деформации объемного расширения.

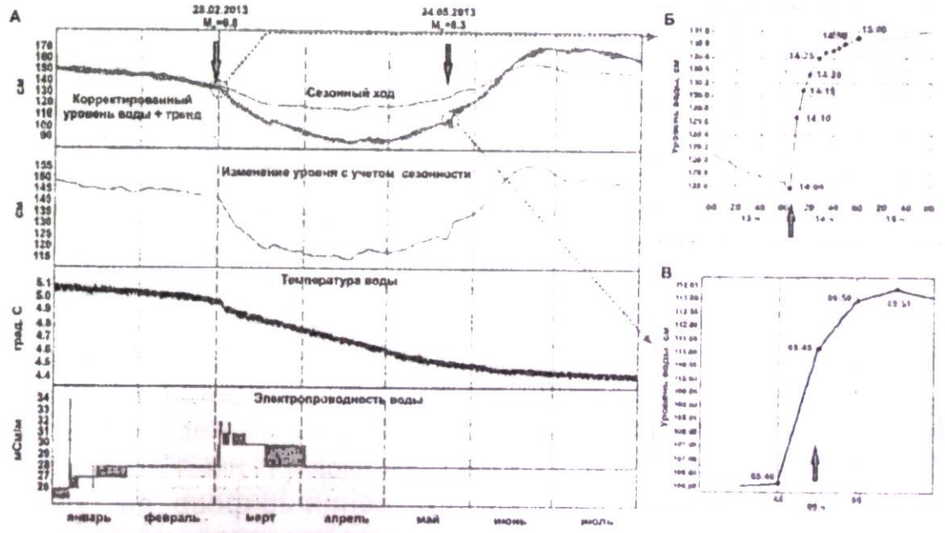


Рис. 2. А – Изменения уровня, температуры и электропроводности воды в скважине ЮЗ-5, включающие ко- и постсейсмические вариации вследствие землетрясений 28 февраля и 24 мая 2013 г. (показаны стрелками). На врезках показаны косейсмические повышения уровня воды после вступления сейсмических волн от землетрясения 28.02.2013 г. (Б) и Охотоморского землетрясения 24.05 2013 г. (В) по данным 5-минутных наблюдений.

Соответствие оценок косейсмической деформации по уровнемерным данным с теоретическими оценками подтверждало высокие деформометрические свойства скважины ЮЗ-5. Вместе с тем, перед землетрясениями 2013 г. гидрогеодинамические предвестники в изменениях уровня воды в этой скважине не были выявлены.

В изменениях уровня воды в скв. Е-1 по данным многолетних наблюдений (1987 г. - настоящее время) обнаружены два типа гидрогеодинамических предвестников: ГП-I с временем упреждения от суток до десятков суток [13] и ГП-II с временем упреждения до месяцев - нескольких лет [13, 6].

ГП-I проявляется в форме понижения уровня воды с повышенной скоростью в течение суток-месяца перед землетрясениями с $M_w \geq 5.0$ на расстояниях $d_e \leq 350$ км. Регулярная повторяемость ГП-I перед такими землетрясениями (более 70 % случаев), а также улучшение статистической связи его проявлений с последующими землетрясениями с ростом величин их магнитуды позволяли использовать ГП-I для оценки времени возникновения сильных местных землетрясений с заблаговременностью сутки – первые недели. С начала 2000-х гг. ГП-I используется для составления заключений о возможности возникновения сильных землетрясений в Камчатском регионе с упреждением до одного-двух месяцев [5, 6, 11, 14].

На рис. 3 показаны изменения уровня в скв. Е-1 в период землетрясения 28.02.2013 г. в сопоставлении с моментами начала проявления ГП-I (стрелка **1** на нижнем графике), землетрясения (**3**) и датой подачи прогнозного заключения в Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений (КФ РЭС) (**2**). В прогнозном заключении от 1 февраля 2013 г. указывалось, что *"в течение времени 1-2 месяца повышена вероятность возникновения землетрясения с $M_w \geq 5.0$ на расстоянии до 350 км от скважины"*. В заключении также приводились оценки надежности сейсмического прогноза для землетрясений с различными величинами магнитуды, основывающиеся на результатах ретроспективного анализа проявлений ГП-I за многолетний период: *"вероятность события с $M_w \geq 5.0$ p=0.45, вероятность события с $M_w \geq 5.9$ p=0.73"*.

Землетрясение 28 февраля 2013 г. соответствовало прогнозу от 1 февраля по величине магнитуды, по времени и по местоположению, и этот прогноз признан КФ РЭС оправдавшимся [11, с. 152]. Изменения уровня воды в скв. Е-1 в период землетрясения 28 февраля: понижение с повышенной скоростью в течение 44 сут перед землетрясением и его повышение с амплитудой около 2 см после землетрясения (см. рис. 3, графики ***3*** и ***4***), являются типичным в случаях проявления сильных ($M_w \geq 6.6$) местных землетрясений на расстояниях до 350 км.

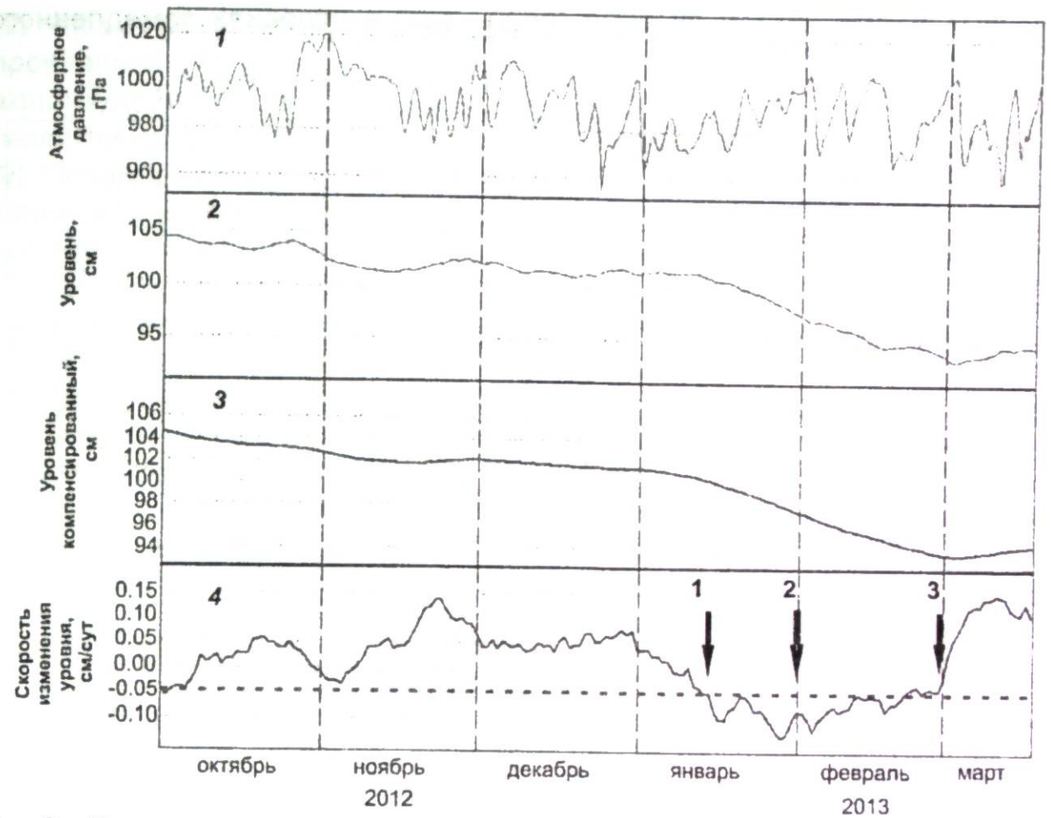


Рис. 3. Изменения уровня воды в скважине Е-1, включающие проявление гидрогеодинамического предвестника ГП_I и постсейсмическое повышение в связи с землетрясением 28 февраля 2013 г., $M_w = 6.9$: *1 и 2* – данные 5-минутной регистрации атмосферного давления и уровня воды, *3* – среднесуточные изменения уровня с компенсированными баровариациями, *4* – суточная скорость изменения уровня воды. На графике *4* стрелками показаны: **1** – 16 января 2013 г., начало проявления ГП_I; **2** – 1 февраля 2014 г., дата подачи прогнозного заключения в КФ РЭС; **3** – 28 февраля 2013 г., дата землетрясения. Горизонтальная пунктирная линия – пороговое значение суточной скорости изменений уровня воды.

Второй тип прогностического сигнала в скв. Е-1 (ГП_II) предшествовал и сопровождал проявления групп сильных землетрясений в 1992 - 1997 гг. (шесть событий с $M = 6.9 – 7.8$ на эпицентральных расстояниях до 300 км) и в 2013 - 2016 гг. (более 20-ти событий с максимальными магнитудами $M_w = 6.8 - 8.3$). ГП-2 проявлялся в понижениях уровня воды с повышенной скоростью в течение первых лет. На рис. 4 представлено развитие тренда понижения уровня воды в 2012 - 2016 гг. Мы полагаем, что такие понижения уровня воды отражают геодинамические обстановки, предшествующие усилению сейсмической активности в Камчатском регионе и возникновению нескольких землетрясений с $M \approx 7$-8. В качестве механизма таких долговременных понижений уровня воды предполагается увеличение трещинно-поровой емкости водовмещающих пород при развитии в них дилатансии и

фазовых изменениях в системе "вода – газ" в условиях замедленного водообмена подземных вод.

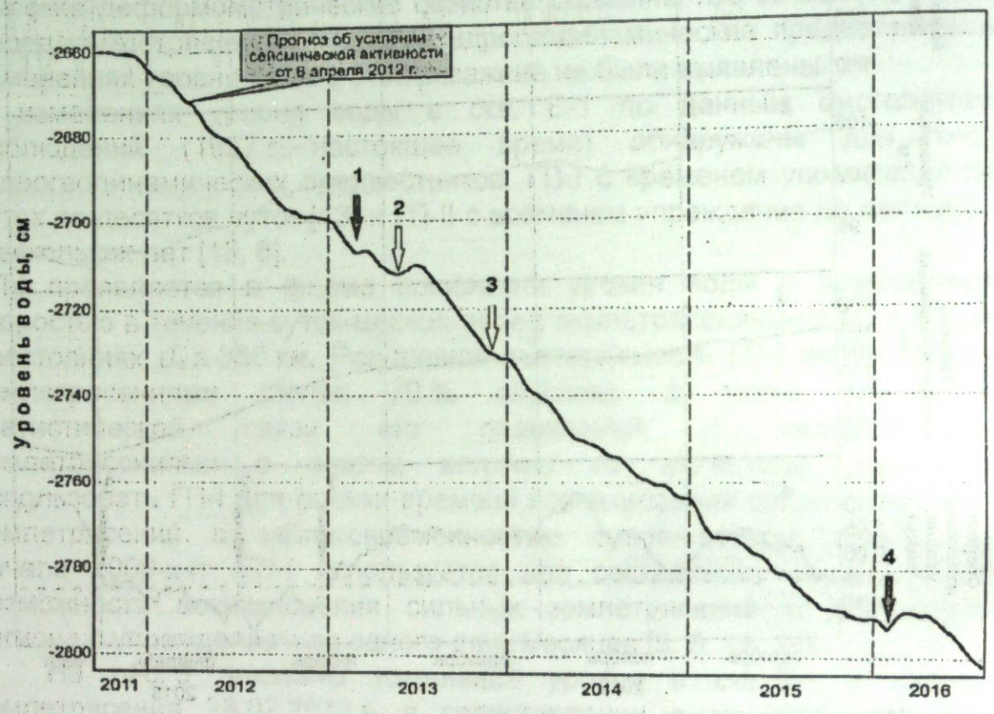


Рис.4. Понижение уровня воды в скважине Е-1 в 2012 – 2016 гг., (предвестник ГП_II). Стрелками показаны землетрясения с M_w≥6.5 в радиусе до 350 км от скважины: черные стрелки обозначают успешный среднесрочный прогноз землетрясений с использованием ГП_1: 1 - 28.02.2013 г., M=6.9; 4 – 30.01.2016 г. (Жупановское), M=7.2; белые стрелки – среднесрочный прогноз не выдавался: 2 – 24.05.2013 г. (Охотоморское), M=8.3; 3 – 12.11.2013 г., M=6.6.

С декабря 2011 г. и в первом квартале 2013 г. наблюдалось понижение уровня воды с повышенной скоростью (рис. 4). На основе опыта наблюдений долговременного тренда понижения уровня воды в 1991-1997 гг. [13], 6 апреля 2012 г. был сделан прогноз об усилении сейсмической активности в регионе и повышенной вероятности сильных землетрясений в течение последующих месяцев - первых лет. Этот прогноз успешно реализовался в серии сильных землетрясений 2013 – 2016 гг. [6].

В период *Жупановского землетрясения 30.01.2016 г.*, M_w = 7.2, d_e = 90 км, 4-5 баллов, гипоцентральное расстояние 200 км (ЖЗ) были зарегистрированы ко- и постсейсмические вариации уровня воды, а также изменения, связанные с процессом подготовки этого сейсмического события [14]. В скв. ЮЗ-5 ретроспективно выделено аномальное повышение уровня воды (по отношению к его среднесезонному поведению) в течение 3.5 мес. перед ЖЗ с амплитудой

Δh ~20 см (ГП). Выше упоминалось, что в этой скважине перед КЗ проявлялся ГП в виде понижения уровня в течение трех недель с амплитудой Δh = -11 см вследствие оттока воды из ствола скважины при развитии квазиупругой деформации расширения водовмещающих пород [9]. Полагая, что при подготовке ЖЗ также проявлялся упругий механизм изменения уровня воды, объемное сжатие водовмещающих пород могло достигать $D_t = -1.2 \cdot 10^{-7}$.

На рис. 5 представлено проявление ГП_I в скв. Е-1 в течение 21 сут перед ЖЗ. Амплитуда понижения уровня за это время составила 2.2 см при среднесуточной скорости -0.06 – -0.12 см/сут. С использованием ГП_I, выявленного в реальном времени, был составлен и передан в КФ РЭС 21 января 2016 г. прогноз о повышенной вероятности сильного землетрясения на расстоянии до 350 км от скважины Е-1 в течение месяца. ЖЗ соответствовало этому прогнозу по величине магнитуды, по времени и по местоположению. Прогноз от 21.01.2016 г.признан КФ РЭС как оправдавшийся [15].

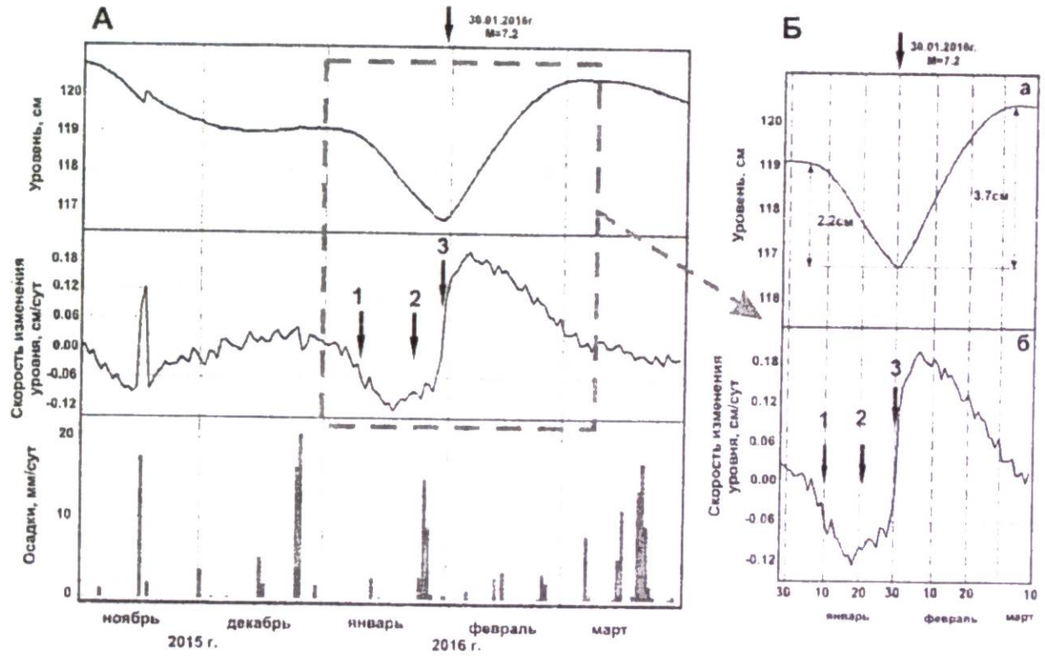


Рис. 5. Изменения уровня воды в скв. Е-1 в период Жупановского землетрясения 30.01.2016 г., M_w = 7.2: А – изменения уровня воды и его среднесуточной скорости с ноября 2015 по март 2016 гг.. На среднем графике цифрами показаны: 1 - 10 января – начало проявления ГП_I, 2 - 21 января – дата подачи прогнозного заключения в КФ РЭС о возможности сильного землетрясения, 3 - 30 января – ЖЗ; пунктирной линией показано пороговое значение скорости понижения уровня воды; жирной пунктирной линией выделен фрагмент изменений уровня воды в период ЖЗ на рис. Б: а – изменения уровня, включающие ГП_1 и постсейсмическое повышение; б – изменение среднесуточной скорости вариаций уровня воды в сопоставлении с ее пороговой величиной -0.06 см\сут.

Заключение

Приведенные примеры проявления гидрогеодинамических предвестников в изменениях уровня воды перед землетрясениями с $M_w = 6.9 - 7.8$ подтверждают реальность их существования и возможность использования для среднесрочного прогнозирования времени таких событий в Камчатском регионе.

ГП проявлялись на эпицентральных расстояниях от 90 до 200-300 км, что составляет от двух до шести (среднее 4) максимальных линейных размеров очагов последующих землетрясений [16]. Это указывает на преимущественную приуроченность ГП к «ближней зоне» готовящихся очагов землетрясений. Время развития ГП составляло от первых лет – месяцев до первых десятков суток. Проявления ГП перед сильными землетрясениями имеют существенные особенности в различных скважинах, которые необходимо учитывать при проведении долговременных мониторинговых исследований в сейсмоактивных регионах.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 18-05-00337.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Копылова Г.Н.* Сейсмичность как фактор формирования режима подземных вод // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2006. - № 1. - Вып. 7. - С. 50-66.
2. *Wang C.-Y., Manga M.,* Earthquakes and Water. Lecture Notes in Earth Sciences 114. Springer, Berlin, 2010. - 249 p.
3. *Киссин И.Г.* Флюиды в земной коре: геофизические и тектонические аспекты. М.: Наука, 2009. – 328 с.
4. *Копылова Г.Н., Болдина С.В., Смирнов А.А., Чубарова Е.Г.* Опыт регистрации вариаций уровня и физико-химических параметров подземных вод в пьезометрических скважинах, вызванных сильными землетрясениями (на примере Камчатки) // Сейсмические приборы, 2016.- № 4. - Т. 52. - С. 43-56.
5. *Чебров В.Н., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К.* Прогнозирование землетрясений на Камчатке. По материалам работы Камчатского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска в 1998-2009 гг. М.: Светоч Плюсч, 2011. – 304 с.
6. *Фирстов П.П., Копылова Г.Н., Соломатин А.В., Серафимова Ю.К.* О прогнозировании сильного землетрясения в районе полуострова Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2016. - № 4. - Вып. 32. - С. 106-114.

7. *Копылова Г.Н.* Изменения уровня воды в скважине ЮЗ-5, Камчатка, вызванные землетрясениями // Вулканология и сейсмология, 2006. - № 6. - С. 52-64.
8. *Копылова Г.Н., Болдина С.В.* О механизме гидрогеодинамического предвестника Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г., M_w=7.8 // Тихоокеанская геология, 2012. - № 5. - С. 104-114.
9. *Gordeev E. I., Gusev A. A., Levin V. E. et al.* Preliminary analysis of deformation at the Eurasia-Pacific-North America plate junction from GPS data // Geophys. J. Int., 2001. - V. 147. - P. 189-198.
10. *Копылова Г.Н., Стеблов Г.М., Болдина С.В., Сдельникова И.А.* О возможности оценок косейсмической деформации по данным уровнемерных наблюдений в скважине // Физика Земли, 2010. - № 1. - С. 51-61.
11. Сильные камчатские землетрясения 2013 года / Под ред. В.Н. Чеброва. Петропавловск-Камчатский: Холд. комп. «Новая книга», 2014. - 252 с.
12. *Болдина С.В., Копылова Г.Н.* Косейсмические эффекты сильных камчатских землетрясений 2013 г. в изменениях уровня воды в скважине ЮЗ-5 // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2016.- № 2. - Вып. 30. - С. 66-76.
13. *Копылова Г.Н.* Изменения уровня воды в скважине Елизовская-1, Камчатка, вызванные сильными землетрясениями (по данным наблюдений в 1987-1998 гг.) // Вулканология и сейсмология, 2001. - № 2. - С. 39-52.
14. *Болдина С.В., Копылова Г.Н.* Эффекты Жупановского землетрясения 30.01.2016 г., *Mw*=7.2 в изменениях уровня воды в скважинах ЮЗ-5 и Е-1, Камчатка // Геодинамика и тектонофизика, 2017. - Т.8. - № 4. - С. 863-880.
15. *Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Абубакиров И.Р. и др.* Жупановское землетрясение 30.01.2016 г. с *Ks*=15.7, *Mw*=7.2, *I*=6 (Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2016. - №1. – Вып. 29. – С. 106-114.
16. *Ризниченко Ю.В.* Размеры очага корового землетрясения и сейсмический момент // Исследования по физике землетрясений. М.: Наука, 1976. - С. 9-27.

УДК 550.347, 623.454.82

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СПОСОБА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И УТИЛИЗАЦИИ ЯДЕРНЫХ ЗАРЯДОВ

К.Т. Тажибаев, Д.К. Тажибаев
Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек.

Приведены примеры и анализ опытов мирного использования энергии взрыва ядерных зарядов по решению народнохозяйственных и экологических задач. Показаны научные и практические достижения по прогнозу и предотвращению тектонических горных ударов и пути их использования для предотвращения тектонических землетрясений. Дано научное обоснование целесообразности использования энергии ядерных зарядов для разгрузки опасных механических напряжений в массиве горных пород сейсмоактивных регионов планеты. Обоснован алгоритм способа предотвращения тектонических землетрясений путем ступенчатого уменьшения напряжений массива горных пород с использованием камуфлетных взрывов ядерных зарядов и их утилизацией.

Ключевые слова: горная порода, остаточное напряжение, поляризованная волна, горный удар, землетрясение, сейсмическая волна, ядерный заряд, камуфлетный взрыв.

ТЕКТОНИКАЛЫК ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРДҮ БОЛТУРБАЙ КОЙУУ ЖАНА ЯДРОЛУК ЗАРЯДДАРДЫ ЗЫЯНСЫЗ ПАЙДАЛАНУУ ЫКМАСЫНЫН ИЛИМИЙ НЕГИЗДЕРИ

К.Т. Тажибаев, Д.К. Тажибаев
Кыргыз Республикасынын улуттук илимдер академиясынын Геомеханика жана жер казынасын өздөштүрүү институту, Бишкек шаары.

Ядролук заряддардын жарылуу энергиясын тынчтык жолу менен эл чарба жана экологиялык маселелерди чечүүдө колдонуулардын мисалдары жана тажрыйбалардын анализи берилди. Тектоникалык тоо-тек соккуларын алдын ала айтуу жана болтурбай коюдагы илимий жана практикалык жетишкендиктер жана аларды тектоникалык жер титирөөлөрдү болтурбай коюда пайдалануу жолдору көрсөтүлдү. Планетадагы жер титирөө кооптуулугу жогору региондордун тоо-тек массивиндеги кооптуу механикалык чыңалууларды азайтууда ядролук заряддардын энергиясын пайдалануунун максатка ылайыктуу экендигинин илимий негиздери берилди. Ядролук заряддарды түпкүрдөн жардыруу аркылуу тоо-тек массивиндеги чыңалууларды тепкичтүү азайтуу жолу менен тектоникалык жер титирөөлөрдү болтурбай койуу ыкмасынын аткаруу ирети негизделди.

Өзөктүк сөздөр: тоо тектери, калдыктуу чыңалуу, багытталган толкун, тоо тек соккусу, жер титирөө, сейсмикалык толкун, ядролук заряд, түпкүрдөн жардыруу.

SCIENTIFIC BASES OF THE METHOD OF THE PREVENTION OF TECTONIC EARTHQUAKES AND SALVAGING OF NUCLEAR CHARGES

K.T.Tazhibaev, D.K.Tazhibaev
Institute of geomechanics and development of bowels of National academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic

Examples and analysis of experiments on the peaceful use of the energy of an explosion of nuclear charges on the solution of economic and environmental problems are resulted. Scientific and practical achievements in forecasting and preventing tectonic rock bursts and ways of using them to prevent tectonic earthquakes are shown. The scientific substantiation of the expediency of using the energy of nuclear charges for unloading dangerous mechanical stresses in the array of rocks of seismically active regions of the planet is given. The algorithm of the method for preventing tectonic earthquakes is substantiated by stepwise reduction of stresses of the rock massif using camouflage explosions of nuclear charges and their utilization.

Key words: rock, residual stress, polarized wave, rock burst, earthquake, seismic wave, nuclear charge, camouflage explosion.

Введение

Периодические катастрофические землетрясения, повторяющиеся через достаточно длительные промежутки времени в определенных, уже известных вытянутых сейсмоактивных зонах планеты, и в дальнейшем (при нашем бездействии) систематически будут неотвратимо наносить огромный моральный и материальный ущерб цивилизации, унося десятки и сотни тысяч жизни людей. К большому сожалению многие, с многомиллионными жителями, такие большие города, как Сан – Франциска, Лос – Анжелес, Мехико, Гватемала, Лима, Ла-Пас, Сантьяго, Кабул, Исламабад, Тегеран, Анкара, Ланьчжоу, Ченду, Киото, Токио, Осака, Сендай, Джакарта, Сингапур, Куала-Лумпур и города расположенные в предгорьях Средней – Азии и Кавказа и других

горных регионов находятся в зонах поражения потенциальных катастрофических тектонических землетрясений.

Прогноз и предотвращение горных ударов и тектонических землетрясений

В настоящее время, даже у многих сейсмологов бытует мнение о не возможности краткосрочного прогноза времени, силы и места природного землетрясения, не говоря о возможности предотвращения этой катастрофы.

В отличие от сейсмологов специалисты по механике горных пород давно решили проблему и прогноза и предотвращения тектонических горных ударов, происходящих в шахтах и рудниках, представляющих собой практически слабые землетрясения [1,2,3,4,5,8,9]. Такое достижение исследователей связано, с одной стороны с доступностью для изучения очагов и очевидностью предвестников горных ударов, и с другой с интенсивностью и производственной необходимостью разработки полезных ископаемых удароопасных месторождений. Как показали результаты наших исследований, тектонические горные удары и землетрясения имеют идентичные причины, механизм и подобные предвестники [6,7, 22].

Нами было установлено неизвестное ранее явление скачкообразного освобождения остаточных напряжений в горных породах, которое впоследствии было признано как научное открытие [10]. Сущность явления состояла в том, что при нарушении равновесия внешней нагрузкой остаточные напряжения сначала проявляются как скачкообразная, иногда знакопеременная деформация, а затем как динамическое, взрывоподобное разрушение горной породы с выделением значительного количества кинетической энергии разрушенных кусков и энергии колебаний массива горных пород.

В настоящее время многочисленными исследованиями установлено, что перед тектоническими горными ударами или землетрясениями, в течение от 40 минут до 2-5 суток до указанных сейсмических событий происходит скачкообразное, знакопеременное изменение деформаций участков породного массива в окрестности очага [1,11,12,13,14]. Аналогичные скачкообразные изменения напряженности магнитного, а также и электрического поля происходят перед тектоническими землетрясениями.

На основе результатов экспериментальных исследований, для краткосрочного прогноза землетрясений, нами был предложен комплекс деформационных и электромагнитных предвестников землетрясений и рекомендован переоборудовать сейсмостанции во всем мире, установив в них, наряду с сейсмометрами, деформометры, магнитометры и измерители электрических, электромагнитных

характеристик, и одновременно измерять изменения деформации, напряжения магнитного и электрического поля. Были показаны возможности о том, что по результатам синхронных и подобных по характеру изменений указных выше разных характеристик и установленных экспериментальных положений можно более точно прогнозировать тектонические горные удары и землетрясения [15,16,17, 22].

Естественно, что любые не желательные события, особенно катастрофические, если имеется возможность, лучше предотвращать, чем прогнозировать. Как указано выше, тектонические горные удары специалистами по горному делу предотвращаются. Технологические меры предотвращения тектонических горных ударов и землетрясений нами были обоснованы в 1996 году [8] и в последующем в работе, опубликованной в 2007 году [9]. Применение взрыва ядерных зарядов для разгрузки напряжений и предотвращения тектонических землетрясений, а также одновременной сейсморазведки полезных ископаемых, строения земных недр была обсуждена на первом Международном симпозиуме «Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений: измерение деформаций, остаточных и действующих напряжений в горных породах»[17]. Для разгрузки опасных напряжений и предотвращения тектонических землетрясений, по предложенной технологии, наряду с промышленным взрывом, было рекомендовано также применение глубинных камуфлетных взрывов ядерных зарядов [9, 17].

Целесообразность применения взрывов ядерных зарядов для разгрузки напряжений и предупреждения тектонических землетрясений обусловлена малым расходом этих зарядов и их весьма высокой мощностью по сравнению с зарядами химических взрывчатых веществ, и главное необходимостью постепенной утилизации накопленных весьма опасных ядерных боеголовок, способных обеспечить массовое уничтожение людей. Например, каждый килограмм ядерного заряда способен выделить энергию, эквивалентную энергии взрыва 16,98 кт химического взрывчатого вещества (энерговыделение 1 кг урана 235 при делении ядра $7{,}2\times10^{13}$ Дж/кг ; энерговыделение при взрыве 1 кг тротила $4{,}24\times10^{6}$ Дж/кг).

Мирные ядерные взрывы в СССР проводились в период с 1965 по 1988 год в рамках «Программы № 7». Всего в СССР было проведено 124 мирных ядерных взрыва в интересах народного хозяйства (в том числе 117 — вне границ ядерных полигонов). Эти взрывы были проведены по следующим целевым назначениям: создание подземных ёмкостей и хранилищ для создания запаса полезных ископаемых — 42 взрыва; глубинное сейсмическое зондирование земной коры, для выявления залежей полезных ископаемых — 39 взрывов; интенсификация добычи газа и нефти — 21

взрыв; эксковационные эксперименты (выемка и перемещение огромных объёмов породы и грунта) — 6 взрывов; ликвидация аварийных газовых фонтанов — 5 взрывов; образование провальных воронок (воронок от взрывов) — 3 взрыва; захоронение жидких токсичных отходов (перекрытие взрывом путей отхода сопутствующим добычи ископаемых вредных отходов, не поддающихся очистке) — 2 взрыва; дробление руды — 2 взрыва; предупреждение внезапных выбросов угольной пыли и метана (специализированный взрыв для нужд угледобычи) — 1 взрыв; создание плотины - хвостохранилища путём рыхления породы (специализированный взрыв для нужд нефтедобычи) — 1 взрыв. Мощности указанных взрывов ядерных зарядов составляли от 2,3 до 140 кт в тротиловом эквиваленте [18].

Кочетков О.С., Алисиевич Л.Н. в предложенном ими способе камуфлетных ядерных взрывов для интенсификации добычи нефти и газа на углеводородном месторождении отмечают, что ядерные заряды для камуфлетного взрыва, необходимые в целях активации процессов разуплотнения в "упругой" зоне, могут иметь относительно небольшую мощность (несколько кт тротила), что снижает финансовые затраты и экологическую опасность самого взрыва, на сегодняшний день ликвидация ядерных запасов - актуальная задача и применение их в мирных целях вполне оправдано и экономически выгодно [21]. Мусиновым В.И. показано экономическая выгодность камуфулетных ядерных взрывов для интенсификации добычи нефти [20].

Анализ последствий, проведенных в СССР и США мирных ядерных взрывов, показал, что с экологической точки зрения не целесообразно проводить ядерные взрывы на поверхности земли, в атмосфере и космическом пространстве, под водой, даже в подземных условиях с целью увеличения добычи нефти, газа и других полезных ископаемых. На наш взгляд остаются оправданными только глубинные камуфлетные подземные взрывы ядерных зарядов малой мощности (от 1 до 10 кт тротилового эквивалента) для сейсморазведки, захоронения ядовитых отходов и химического оружия, предотвращения тектонических землетрясений, с одновременной утилизацией накопленного в достаточном количестве для массового уничтожения людей опасного ядерного оружия, долгосрочное хранение которых требуют немалых затрат.

Исследователи отмечают, что самую большую опасность представляет отработанное топливо, его переработка и хранение. Потому что на сегодняшний день не изобретен полностью безопасный способ утилизации ядерных отходов [25].

Контроль силы и частоты землетрясений в зоне проведенных ядерных взрывов показало, что в период до появления запрета на проведение ядерных взрывов, после нескольких таких взрывов

наблюдалось резкое снижение количества и силы подземных сейсмических колебаний. Исследователи Российского ядерного центра ВНИИТФ из города Снежинска объяснили это явление тем, что сейсмическая волна, распространяясь на большие расстояния, слегка встряхивает глубинные породы и снимает нарастающие напряжения в земной коре [18]. Авторы, исследовавшие изменения состояния массива горных пород в реальное время вблизи промышленных взрывов рудников Кумтор и Орловка отмечают, что массивные промышленные взрывы являются источниками сейсмических волн, позволяющих проследить за состоянием среды земной коры и верхней мантии Тянь-Шаня в реальное время. Они отмечают, что аномально повышенные и пониженные значения скорости продольной Vp и поперечной волны Vs в земной коре, вероятно, обусловлены геодинамическими и сейсмическими процессами Тянь-Шаня, а также повторяющимися промышленными взрывами [23].

В работе А.П.Васильева, Н.К.Приходько, В.А.Симоненко, где рекомендовано применение ядерного взрыва для захоронения ядовитых отходов и химического оружия, показано, что в типичном мирном ядерном взрыве образуется всего 200-600 г радиоактивных осколков деления. В расчете на 1 кт взрывчатого вещества расплавляется 500-700 т горной породы, что способствует естественному самозахоронению и сильному разбавлению радиоактивных продуктов в стекловидной массе расплавов. Чтобы радиоактивные продукты взрыва не могли проникнуть по скважине в вышележащие пласты в скважине (после того как контейнер с ядерным зарядом опущен на заданную глубину) создается герметизирующая цементная пробка с длиной до сотен метров[19].

Известно, что при крупных массовых промышленных взрывах сейсмические колебания распространяются за сотни километров от места взрыва, а от мощного ядерного взрыва сейсмические волны могут фиксироваться даже на диаметрально противоположной стороне нашей планеты. Исходя из этого, ядерные взрывы для предотвращения тектонических землетрясений или сейсморазведки полезных ископаемых достаточно проводить на глубинах 500-1000м. Главное, чтобы радиоактивные отходы оставались в недрах, что обеспечивается надежной бетонной забойкой (закупоркой) взрывной скважины до глубины не менее 100 м. Радиоактивные урановые руды добываются из значительных глубин недр, их опасные излишки (в виде ядерных боеголовок), по нашему мнению, необходимо возвращать, таким образом, на эти же глубины. Для эффективного использования взрыва ядерных зарядов, проводимой для снятия опасных напряжений в очаге будущего землетрясения и его окрестности, целесообразно по выбранному геологическому маршруту протяженностью 500 – 1000 км через определенные расстояния устанавливать сейсмографы,

деформометры, магнитометры, измерители электрических или электромагнитных параметров горных пород, которые дополнительно могут обеспечивать изучения строения, вещественного состава и напряженного состояния массива горных пород. Таким образом, решая проблемы предотвращения тектонических землетрясений и утилизации ядерных зарядов, параллельно решаются задачи сейсморазведки полезных ископаемых.

Взрывы ядерных зарядов, проведенные в целях сейсморазведки, показали их эффективность в поиске новых месторождений, особенно нефтегазовых и в изучении строения недр. Результаты наших экспериментальных исследований показали, что при воздействии импульсной (ударной) нагрузкой эффективно снимаются остаточные напряжения горных пород, существенно уменьшаясь по мере увеличения мощности импульса [24].

Ядерные взрывы могут успешно применяться для снятия опасных напряжений зоне очага землетрясения, однако остается открытым вопрос о том, что с какой начальной мощностью взрыва необходимо воздействовать на массив горных пород, чтобы не провоцировать катастрофического землетрясения. Возможные при этом инициированные слабые, не разрушительные землетрясения в данном случае даже желательны, так как они эффективно снимают (разгружают) опасные напряжения, однако от воздействия мощного взрыва в зонах высокой концентрации остаточных напряжений может инициироваться катастрофические сейсмические события.

Препятствием для применения ядерных взрывов по указанным выше целесообразным назначениям на сегодняшний день является международный Договор о запрещении ядерных испытаний.

В статье «Ядерные взрывные технологии (ЯВТ): когда с ними лучше, чем без них» А.Б. Колдобский отмечает, что бессмысленно обсуждать ЯВТ, абстрагируясь от факта существования Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, п.1 ст.1 которого прямо запрещает государству участнику производить любые ядерные взрывы вне зависимости от их цели и назначения. С учетом этого автор предлагает непредвзято и аргументировано проанализировав возможности ЯВТ ответить на вопрос о целесообразности их использования в определенных случаях; именно в тех, когда такое использование с экономической, экологической, социальной точек зрения является объективно наилучшим решением некоторой важной проблемы. Считаем, что рассуждение автора правомерно, разумно и действительно он может рассчитывать на международное понимание и согласие. Далее автор отмечает, что пункт 1 статьи 8 Договора прямо предусматривает принципиальную возможность решения мирных ядерных взрывов Конференцией по рассмотрению действия Договора, проводимой через 10 лет после вступления в силу и обсуждающий

такую возможность по запросу государства – участника, с принятием мер, исключающих получение от таких взрывов каких либо военных выгод. В 2017 году проводился Конференция ООН по согласованию положения Договора (нового) о запрещении ядерного оружия, однако, все 9 стран «ядерного клуба» (ядерные державы) не принимали участие в работе Конференции. *Считаем целесообразным рассмотреть в Конференции ООН вопросы о безопасной и приносящей пользы утилизации ядерного оружия путем использования взрыва ядерных зарядов для предотвращения тектонических землетрясений и сейсморазведки полезных ископаемых.*

Впервые идею применения ядерного взрыва для снижения опасности землетрясения высказывал С.Г. Авершин в 1971 году: «При подземной добыче полезных ископаемых на больших глубинах (500-3000м) разрядка концентраций напряжений и их выравнивание достигаются разными способами, среди которых наиболее эффективным является способ камуфлетных взрывов. Это один из приемов предотвращения горных ударов. И в случае землетрясений можно мыслить способ управления упругой энергией – мощными ядерными взрывами, вызываемыми в определенной системе на территории, под которой исследования обнаружат зоны опасной концентрации» [26]. Он отмечал, что таким способом, хотя и не возможно полностью предотвращать, но можно снижать мощность (балльность) землетрясений, потенциальная удельная энергия которых в кубическом километре составляет порядка $8,84*10^{20}$ эрг ($8,84*10^{10}$ кДж).

Наши исследования показали, что сильные тектонические горные удары и землетрясения обусловлены разрядкой, динамическим высвобождением генетических остаточных напряжений, сформированных при образовании (кристаллизации) горных пород в результате неравномерного остывания первичного материала – высокотемпературной магмы, гидротермальных образований или метаморфизации уже имеющихся пород под действием высоких температур и давления в зонах магматизма, вулканизма, активных тектонических разломов. Были показаны причинно-следственные взаимосвязи магматизма и вулканизма с генетическими остаточными напряжениями горных пород, с динамическим их разрушением в объемных очагах – тектоническими землетрясениями (рис. 1 и 2) [6,7].

Из сравнения рисунков 1 и 2 видно, что сильные землетрясения повторяются в одних и тех же вытянутых зонах планеты – в зонах активных тектонических мегаразломов, а главное эти зоны по всей планете совпадают с зонами магматизма и вулканизма. Отсюда следует, что с магматизмом и вулканизмом связаны формирования зон высокой концентрации генетических остаточных напряжений, в свою очередь с этими высоконапряженными зонами связаны динамические разрушения

горных пород в объемном очаге, обуславливающие тектонические землетрясения.

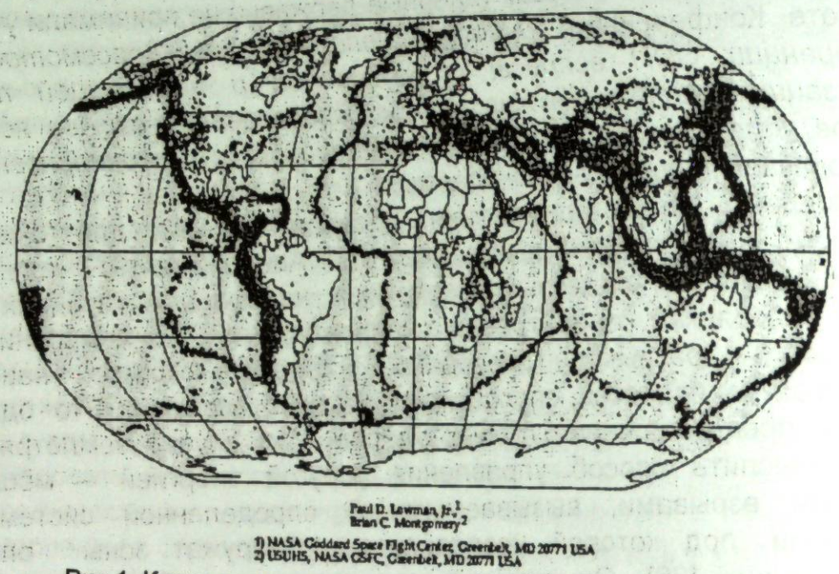


Рис.1. Карта эпицентров землетрясений с 1963 по 1998 год.

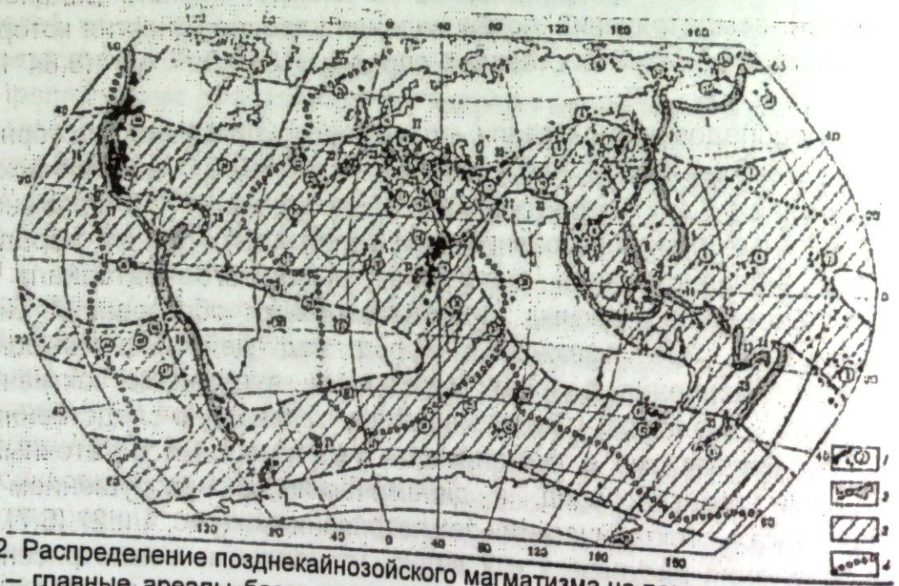


Рис.2. Распределение позднекайнозойского магматизма на поверхности Земли [29].
1 – главные ареалы базальтового магматизма; 2 – главные дуги андезитового магматизма;
3 – пояса позднекайнозойского магматизма; 4 – осевые линии срединно-океанических хребтов.

Землетрясение - следствие динамического (природного взрывного), самоподдерживающегося разрушения горных пород в объемном очаге, происходящее по принципу цепной реакции при наличии механического напряжения, достигающего предела прочности горной породы в массиве для соответствующего напряженного состояния [6,7,22].

Проведенными нами экспериментальными исследованиями было показано, что при импульсном многократном воздействии можно полностью разгрузить остаточные напряжения в горных породах [24], показаны возможности прогноза и предотвращения тектонических горных ударов и землетрясений [22,17,16,15,9,8].

Количества удельной энергии необходимого для полной разгрузки массива от предельных напряжений всестороннего сжатия горных пород, путем обеспечения трещинообразования (начало разрушения), можно определить по следующей формуле

$$W_{\dot{O}} = \frac{\sigma_o^2 \cdot V}{2E} \qquad (1),$$

где W_τ - удельная энергия трещинообразования данного участка массива горных пород;

σ_o - среднее значение предела прочности горных пород при всестороннем сжатии (максимальное разрушающее напряжение); E – среднее значение модуля упругости горных пород; V – объем разгружаемых горных пород.

Например, при средней величине предела прочности горных пород в условиях всестороннего сжатия 1500 МПа, модуля упругости $4 * 10^4$ МПа, для 1 м^3 объема горных пород удельная энергия начала трещинообразования W_T = 2810 Дж/м^3, а для объема пород 1 км^3 энергия начала трещинообразования (начала разрушения) составляет $W_T = 28{,}1*10^8$ кДж/км^3. Исходя из этого, в объеме 1 км^3 горных пород необходимую для трещинообразования и полной разгрузки напряжений максимальную энергию может обеспечивать 0,663 кт тротилового эквивалента ядерный заряд. Тогда, для полной разгрузки зоны землетрясения с объемом 10 км^3 величина максимальной энергии ядерного заряда составит 6,63 кт. Однако при этом взрыв такой мощности может спровоцировать и вызвать землетрясение, так как образование трещин в горной породе, обуславливая нарушение равновесного состояния остаточных напряжений, может вызвать лавинообразное самоподдерживающееся динамическое разрушение горных пород в зоне высокой концентрации напряжений [6,7]. Поэтому разгрузку напряжений необходимо начинать с взрыва меньшей удельной энергией, чем удельная энергия трещинообразования для данных типов горных пород, и путем повторных взрывов с постепенно

нарастающей до определенного предела энергией взрыва ядерного заряда.

Как показали экспериментальные исследования, при многократном импульсном воздействии на образец горной породы, начиная с малыми энергиями свободно падающего груза, можно полностью разгрузить его остаточные напряжения [24]. В качестве примера на рисунках 3 и 4 представлены результаты исследований проявлений остаточных напряжений в двух взаимно перпендикулярных направлениях при ударах свободно падающим грузом по торцу цилиндрического образца.

Как видно из графиков, при достижении высоты падения 50 см (максимальная высота) и далее, груза с массой 0,6 кг, приращение деформации разгрузки прекращается, что означает практически полной разгрузки остаточных напряжений. Энергия свободно падающего груза вычисляется исходя из высоты падения и массы груза по общеизвестной формуле: $K = mgh$ (2),

где m – масса груза; h – высота падения груза; g – ускорение свободного падения. При максимальной высоте падения груза

$K_m = 0{,}6кг*9.81м/с^2*0{,}5м = 0{,}3$ Джоуль.

Удельную энергию импульсного воздействия (ударное или динамическое воздействие взрывом) обеспечивающего максимальную разгрузку от имеющихся механических напряжений можно определить по следующей формуле $E_{max} = \frac{K_m}{V}$ (3), где K_m –энергия импульсного воздействия, обеспечивающего максимальную разгрузку напряжения; V –разгружаемый объем горной породы.



Рис. 3. График зависимости продольного остаточного напряжения образца (гранит мелкозернистый, Восточный-Коунрад, обр.2т) от высоты падения соударяющего груза.



Рис. 4. График зависимости поперечного остаточного напряжения образца (гранит мелкозернистый, Восточный-Коунрад, обр.2т) от высоты падения соударяющего груза.

Учитывая размер (диаметр 42 мм, высота 84 мм) и объем образца равным 0,000116 м^3 , энергию свободно падающего груза, установленного по формуле 2, удельная энергия максимальной разгрузки для мелкозернистого гранита месторождения Восточный Коунрад составит

$$E_{max} = \frac{K_m}{V} = \frac{0{,}3}{0{,}000116} = 2588\ \frac{Джоуль}{м^3}$$.

Данная величина удельной энергии близка к удельной энергии трещинообразования горных пород типа гранитов. Для девяти разных по генезису и свойствам горных пород установлено, что при средней удельной энергии импульсного воздействия (средняя высота падения груза 30 см) равном $E_{ср} = \frac{K_{ср}}{V} = \frac{0{,}18}{0{,}000116} = 1552\ \frac{Джоуль}{м^3}$ практически для всех рассматриваемых горных пород остаточные напряжения разгружаются порядка 50 % [24]. Поэтому для начальной удельной энергии импульсного воздействия можно рекомендовать указанную среднюю величину. Например, для разгрузки напряжений путем многократных взрывов ядерных зарядов в объеме км^3 горных пород вначале проводится несколько взрывов со средней (начальной минимальной) удельной энергией 1552*10^6 кДжоуль/км^3 (0,366 кт тротиловый эквивалент), затем постепенно наращивая величину удельной энергии (каждый раз порядка 10% от первоначальной величины), проводят повторные взрывы, и в конечном этапе величину удельной энергии доводят до 2588 *10^6 кДжоуль/км^3 (удельная энергия максимальной разгрузки напряжения), то есть до 0,625 кт тротилового эквивалента (энерговыделение при взрыве 1 кг тротила 4,24×10^6 Дж/кг).

При этом в 1 км^3 объеме горных пород происходит максимальная разгрузка напряжений, и с учетом передачи энергии сейсмических волн на большие расстояния, и предполагая дальнейшую разгрузку напряжений на 50% в объеме горных пород до 10 км^3 , для энергии взрыва 2588 *10^6 кДжоуль, можно определить радиус объема (шара) общей разгрузки массива горных пород *R*. Например, для общего объема разгружаемого шара 10 км^3 радиус разгрузки составляет *R* =1,3366 км. Для общей (до 50 %) разгрузки объема горных пород равным 100 км^3 потребуется энергия взрыва 2588*10^7 кДжоуль (6,10377 кт тротиловый эквивалент). При этом радиус общей разгрузки составляет порядка 2,88 км. При разгрузочных многократных взрывах для избегания инициирования катастрофического землетрясения взрывом, вначале проводится взрыв заряда малой мощности, постепенно наращивая мощность и соблюдая следующее неравенство удельных энергий разгрузки напряжения взрывами

$$E_{cp} < E_{max} < W_T \qquad (4),$$

где E_{cp} – удельная энергия среднего (начального) уровня разгрузки напряжения;

E_{max} - удельная энергия максимального уровня разгрузки напряжения;

W_T - удельная энергия трещинообразования для данной горной породы.

Следует отметить, что при ядерном взрыве на образование трещин расходуется незначительная часть энергии , а основная часть энергии взрыва превращается в тепло и в энергию сейсмических колебаний. Энергия сейсмических колебаний мощного взрыва, распространяясь на большие расстояния (несколько тысяч км) существенно разгружают напряжения в ближней сферической зоне взрыва, в радиусе десятки и сотни километров.

Способ предотвращения тектонических землетрясений путем утилизации ядерных зарядов необходимо осуществлять по следующей последовательности:

1. По сейсмологическим, геофизическим и геологическим данным, путем определения строения массива, изучения механических свойств, остаточных напряжений горных пород и положения сейсмической «бреши» устанавливается сейсмоопасное, разгружаемое от опасных напряжений место, то есть участок для бурения глубоких разгрузочных и наблюдательных скважин;
2. Исходя из геологического строения сейсмоопасного участка массива горных пород, полученного путем анализа геолого-геофизических данных, и с учетом безопасности близкорасположенных сооружений и населенных пунктов определяют общий объем разгрузки части массива предполагаемыми взрывами ядерных зарядов, которые будут с нарастающей мощностью многократно произведены в двух или

четырех скважинах, то есть устанавливают радиус большого шара *R* (в эпицентре), определяющий общий объем разгрузки взрывами. Например, как указано выше, для объема разгрузки шара 10 км^3 радиус разгрузки составляет *R* =1,337 км. Для обеспечения равномерности перераспределения энергии взрывов, равномерно располагая разгрузочные глубокие скважины (700-1500м) в пределах общего объема разгрузки, расстояние L_C между ними принимают равными *R* (рис. 5);

3. Для предварительного изучения механических свойств, остаточных напряжений горных пород и последующего контроля уровня разгрузки напряжений при повторных взрывах, в центре зоны разгрузки проходят 4 не глубокие (по 300 м) контрольные скважины малого диаметра (85-90мм) колонковым бурением с получением кернов. Расстояние между контрольными скважинами в зависимости от детальности исследований напряжений составляет 0,5 - 5 м (рис. 5). Вслед за колонковым бурением контрольных скважин параллельно выполняются следующие работы:

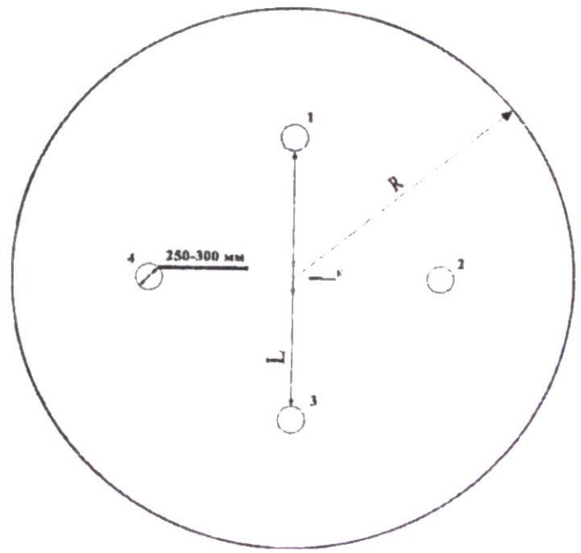


Рис. 5. Схема разгрузки от механических напряжений. 1,2,3,4 – разгрузочные скважины; К – контрольные скважины; R – радиус объема разгрузки от механических напряжений; L – расстояние между разгрузочными скважинами.

3.1. Проводится паспортизация кернов для каждой контрольной скважины;

3.2. Определяется по керновому материалу геологические нарушенности, трещиноватости породного массива, минеральный состав, показатели прочности горных пород для случаев

объемного, одноосного сжатия, растяжения, сдвига (сцепление) (σ_O , σ_C , σ_P , C);

3.3.По новому ультразвуковому способу на образцах и для массива горных пород, измеряя скорости продольных и поперечных ультразвуковых волн на базе образцов и между контрольными скважинами, определяется акустические и деформационные характеристики [27];

3.4. В образцах горных пород, отобранных из контрольных скважин, неразрушающими методами определяется остаточные напряжения [22,24];

3.5.Действующие в массиве горных пород напряжения, по разным направлениям между контрольными скважинами малого диаметра, определяются поляризационно-акустическим методом на основе следующих формул, позволяющих определять знак и величину напряжений в твердых материалах по разным направлениям для заданной базы измерения (Закон Кушбакали) [28]:

$$\sigma_X = (\frac{V_{SOZ}}{V_{SZ}} - 1)K_Z \; ; \quad \sigma_Y = (\frac{V_{SOX}}{V_{SX}} - 1)K_X \; ;$$

$$\sigma_Z = (\frac{V_{SOY}}{V_{SY}} - 1)K_Y \qquad (5),$$

где V_{SX} , V_{SY} , V_{SZ} – скорости поперечной поляризованной ультразвуковой волны по X, Y, Z соответственно при наличии напряжения; V_{SOX} , V_{SOY} , V_{SOZ} - скорости поперечной поляризованной волны по X, Y, Z при отсутствии напряжения (не нагруженное состояние, без остаточных напряжений); K – волновой модуль напряжения материала (название модуля наше), имеющий размерность напряжения.

Для определения волнового модуля напряжения K введено обозначение

$\omega_Z = (\frac{V_{SOZ}}{V_{SZ}} - 1)$; $\omega_X = (\frac{V_{SOX}}{V_{SX}} - 1)$; $\omega_Y = (\frac{V_{SOY}}{V_{SY}} - 1)$, тогда из формулы 5 $\sigma_X = \omega_Z K_Z$; $\sigma_Y = \omega_X K_X$; $\sigma_Z = \omega_Y K_Y$ (6) , отсюда

$$K_X = \frac{\sigma_Y}{\omega_X} \; ; \quad K_Y = \frac{\sigma_Z}{\omega_Y} \; ; \quad K_Z = \frac{\sigma_X}{\omega_Z} \qquad (7).$$

Для изотропных материалов $K_X = K_Y = K_Z = K$. Для анизотропных (слоистых, кристаллических анизотропных) материалов значение

волнового модуля напряжения K определяется по соответствующим направлениям.

Значение K определяется в лабораторных условиях из опытов прозвучивания при нагружениях и разгрузке образцов. Проводится по 5-10 определений значений K при нагружении и разгрузке образца представительного объема исследуемого материала. Значение K как характеристика материала определяется как среднее из 10-20 единичных значений, полученных при прозвучивания в процессе нагружении и разгрузке образца горной породы или технического твердого материала. Следует отметить, что величину K необходимо определять для характерного, то есть представительного объема, так как данный модуль зависит от структуры и вещественного состава материала. В связи с этим для определения величины K предложены следующие размеры призматического образца горной породы (материала) 7x7x14 см;

3.6. Для определения напряжений и контроля их изменений после взрывов попарно в двух контрольных скважинах устанавливаются излучатели (в первой скважине) и приемники (во второй скважине) ультразвуковых волн в трех разных высотных отметках. До проведения первого взрыва для разных высотных отметок и направлений определяются скорости продольной и поперечной поляризованной ультразвуковой волны, по которым определяются механические свойства и напряжения горных пород массива;

4. Проводится бурения в начале двух, по мере необходимости четырех глубоких разгрузочных скважин (рис. 3) и после окончания работ, перечисленных выше, в разгрузочной скважине №1 в интервале конечной глубины, например, 1000-980 м располагают ядерный заряд и детонатор, выше заряда интервал скважины 980 - 860 м бетонируется (толщина бетонной забойки 120 м) и после истечения 15 суток для упрочнения бетона проводится первый камуфлетный взрыв ядерного заряда с энергией, установленной с учетом показателей прочности, остаточных и действующих напряжений горных пород, по значению удельной энергии средней разгрузки для объема малого шара с радиусом r = R / 2 вокруг первой разгрузочной скважины, например, для объема разгружаемого (общая разгрузка) шара 10 км^3 радиус разгрузки который составляет R =1,3366 км, энергия взрыва составит

$$E_{1\,(ср)} = E_{V\,(ср)} \; \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 ,$$

где $E_{1\,(ср)}$ - энергия первого взрыва ядерного заряда, кт (тротиловый эквивалент); $E_{V\,(ср)}$ - удельная энергия первого взрыва ядерного заряда (среднего уровня разгрузки), кт/ км^3.

Например, как указано выше, для общей разгрузки напряжений в объеме 10 км^3 горных пород, в случае, если для

начального первого взрыва ядерного заряда принимаем значение удельной энергии средней разгрузки (начальная) $1552*10^6$ кДжоуль/км^3, то энергия первого взрыва ядерного заряда составит

$E_{1(ср)} = E_{V(ср)} \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 = 1552*10^6 * 1,2496 = 1939,43*10^6$ кДжоуль,

или 0,457 кт тротилового эквивалента;

5. После первого взрыва в течение 3-х суток проводится контроль изменений напряженного состояния по данным ультразвукового прозвучивания в контрольных скважинах, и определяются напряжения по формулам указанным в пункте 3.5;
6. Последующие четыре взрыва в скважине №1 проводится также через интервал 140 м (бетонная забойка 120 м) с постепенным наращиванием энергии взрыва каждый раз на 10 % от величины энергии предыдущего взрыва, и после каждого взрыва в течение 3-х суток проводится контроль изменений напряжений массива горных пород в контрольных скважинах;
7. В скважине № 2 камуфлетные повторные взрывы ядерных зарядов проводят в такой же последовательности снизу вверх, как и в скважине №1 с энергией E_5, превышающей E_4, но меньшей, чем максимальная величина энергии, не менее чем после 3-х суток предыдущего взрыва, соблюдая постепенное нарастание энергии, то есть неравенство:

$$E_{max} > E_2 > E_{1(min)}, \text{ где } E_{max} = E_{V(max)} \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \quad (8),$$

где – $E_{v(max)}$ - удельная энергия взрыва ядерного заряда максимальной разгрузки, кт/ км^3.

8. Проводится контроль изменений напряжений в контрольных скважинах после каждого взрыва, и в случае стабилизации данных, то есть прекращения существенных изменений напряжений после последних двух взрывов, взрывы и дальнейшие работы прекращаются, так как стабилизация данных о напряжениях означает полную разгрузку опасных напряжений.
9. В случае отсутствия стабилизации данных по напряжениям, наличия существенных изменений напряжений после последних двух взрывов, проводится бурение глубокой скважины №3 и при необходимости скважины №4, и повторные взрывы, и контроль напряжений проводится по вышеуказанной последовательности, наращивая энергию взрыва ядерного заряда и доводя до величины энергии максимальной разгрузки напряжений.

Чем больше взрывов с промежуточными маломощными значениями сейсмической энергии, тем меньше вероятность инициирования землетрясения взрывом ядерного заряда. В

предельном случае, когда производят только два взрыва: первый с энергией $E_{1(min)}$, второй - E_{max}, в течение от 0 до 80 минут может инициироваться землетрясение, так как при этом взрыв с энергией E_{max}, нарушая равновесия опасных, до конца не разгруженных напряжений, становится спусковым механизмом, инициируя тектоническое землетрясение.

Заключение

Преимущество и эффективность предлагаемого способа предотвращения тектонических землетрясений путем утилизации ядерных зарядов заключается в поэтапности разгрузки высоконапряженной, сейсмоактивной части породного массива повторными взрывами ядерных зарядов, постепенно увеличивая их мощность, возможности получения по контрольным скважинам данных минералогического состава и свойств горных пород для разведки полезных ископаемых. В предлагаемом способе обеспечивается эффективное утилизация и использование накопленного опасного ядерного оружия массового поражения людей, наоборот, для сохранения жизни людей от тектонических землетрясений, открываются новые возможности применения параметров сейсмических волн взрывов ядерных зарядов для исследования строения и состава породного массива на обширных территориях планеты. Для решения проблемы снижения риска катастрофических тектонических землетрясений и утилизации накопленного опасного ядерного оружия необходимо объединить интеллектуальные усилия исследователей разных направлений науки на международном уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авершин С.Г. Горные удары. -М., Углетехиздат.-1955.-С.234.
2. Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих пласты, склонные к горным ударам. Л., ВНИМИ, 1981, с. 22.
3. Винокур Б.Ш., Неупокоев В. А., Сысолятин Ф.В. Способ предотвращения горных ударов. / А.с. СССР,1089273.-1984.Бюл.16.
4. Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях, склонных к горным ударам. Л., ВНИМИ, 1980, с. 12.
5. Макаров Ю.Н., Кузнецов В.П., Морозов Г.Л., Генкин В.А., Филинков А.А., Кузнецов А.В., Юров. А.С., Тряпицын В.М. Способ предотвращения горных ударов в крепких горных породах. / А.с. СССР,1093823.-1984.Бюл.19.
6. Тажибаев К.Т., Условия динамического разрушения горных пород и причины горных ударов.-Фрунзе.-1989.-С.180.

7. Тажибаев К.Т. О причинах и механизмах горных ударов и землятресений/ Исслед., прогноз и предотвр. горных ударов// Матер IX Всес.конф. по механике горн.пород.-Бишкек.-1991-С.139-167.
8. Тажибаев К.Т., Тажибаев Д.К. Рекомендации по предупреждению тектонических горных ударов и землетрясений // Информационный листок №3 (7210), серия 52.13.35. Национальный информационный центр Кыргызской Республики (КиргизИНТИ), 1996г., Бишкек.
9. Тажибаев К.Т., Тажибаев Д.К. Технологические меры предупреждения тектонических горных ударов и землетрясений. /Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2007г. Том 7, №1. Бишкек. С.24-28.
10. Айтматов И.Т., Тажибаев К.Т. Явление скачкообразного освобождения остаточных напряжений в горных породах: Диплом на научное открытие (Диплом № 90, № А-109 от 29.04.1998 г.), выданный Международной Ассоциацией авторов научных открытий и Российской Академией естественных наук (Москва), 1998.
11. Рикитаки Т. Предсказание землетрясений, М.: Мир, 1979. – 335 с.
12. Шрепп Б.В., Квочкин В.А., Бояркин В.И. и др. Исследование закономерностей динамических явлений в зоне влияния очистных работ Таштагольского рудника // Прогноз и предотвращение горных ударов при разработке рудных месторождений / Матер. 5-го координац. совещ. по пробл. горных ударов на рудных месторождениях. – Фрунзе, 1986. – 67-68.
13. Предсказание землетрясений // Сб. статей и материалов по разработке проблемы предсказаний землетрясений / Отв. ред. Е.Ф.Саверенский. – Мир, 1968. –с.213.
14. Асада Т, Исибаси К., Матсуда Т. и др. Методы прогноза землетрясений их применение в Японии (пер. с англ.). – М.: Недра, 1984. - с.312.
15. Тажибаев К.Т. Концепция стационарной деформации литосферных плит, прогноз и предупреждения тектонических землетрясений. / Известия Национальный академии наук Кыргызской Республики. 2009 г. № 2. Бишкек. – с.47-57
16. Tazhibaev K., Tazhibaev D. Possibilities of the forecast and the prevention of tectonic rock bursts and earthquakes. /Материалы Международной Конференции «Дистанционные и наземные исследования в Центральной Азии» - Бишкек: 8-9 сентября 2014г. –с 94-98.
17. Тажибаев К.Т Научно-технические основы прогноза и предупреждения тектонических горных ударов и землетрясений. // Материалы первого Международного симпозиума «Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений: измерение деформаций, остаточных и действующих напряжений в горных породах», г. Бишкек, 21-23 сентября 2016. С. 25 -37.
18. Мирные ядерные взрывы /Материал из Википедии.
19. Васильев А.П., Приходько Н.К., Симоненко В.А. Подземные ядерные взрывы...для улучшения экологической обстановки. / Журнал "Природа", 1991 г., N 2, с. 36 - 42.
20. Мусинов В.И. Добыча нефти и газа с помощью ядерных взрывов. Журнал "Природа", 1991 г., 11, с. 25 - 33.
21. Кочетков О.С., Алисиевич Л.Н. Способ камуфлетных ядерных взрывов для интенсификации добычи нефти и газа на углеводородном месторождении. / Патент на изобретение РФ. 2 179 346, 2002г. Бюл. № 4.
22. Тажибаев К.Т. Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород. В двух томах. Т.1 – Бишкек: Издательство "Алтын Принт", 2016. -352 с.
23. Омуралиев М., Омурбек Кызы К., Мамбетова Г.А. Изменение состояния среды земной коры в реальное время вблизи промышленных взрывов (Кумтор, Орловка) // Материалы первого Международного симпозиума «Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений: измерение деформаций, остаточных и действующих напряжений в горных породах», г. Бишкек, 21 сентября 2016. С.103-111.
24. Тажибаев К.Т., Ташмаматов А. С. Остаточные напряжения в горных породах и метод их определения. –Бишкек: Издательство "Текник", 2014. -126 с.
25. http://fb.ru/article/198185/primenenie-yadernoy-energii-problemyi-i-perspektivyi
26. Авершин С.Г. О некоторых физико-механических процессах, сопутствующих землетрясениям. / Некоторые прикладные задачи механики горных пород. - Фрунзе. "Илим"-1971. С.5- 30.
27. Тажибаев К.Т., Ормонов М.Ж., Тажибаев Д.К., Способ определения характеристик упругости твердых материалов. // Патент на изобретение КР № 2044, от 30.03.2018 г.
28. Тажибаев К.Т.,Тажибаев Д.К., Акматалиева М.С. Закономерность изменения относительной величины скорости прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны от механического напряжения в твердых материалах (закон Кушбакали) /Диплом № 453 на научное открытие от 3 октября 2013 года, г. Москва. Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Российская академия естественных наук. //Научные открытия -2013. Сборник кратких описаний. –М.РАЕН, 2014г. –С 48-50.
29. Шарков Е.В. В подземных мастерских плутона // Что такое интрузивы. – М, 1986. – С.144.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ
Выпуск тридцать третий (3), 2018 г.

УДК 550.830+ 539.3

ТЕОРИЯ КАТАСТРОФ ОДНА ИЗ БАЗОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКИХ ОТКЛИКОВ ГОРНОГО МАССИВА НА ИСКУССТВЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

О.А.Хачай[1], О.Ю.Хачай[2]
[1]Институт геофизики УрО РАН им. П. Булашевича, ул. Амундсена, 100, Екатеринбург, 620016, Россия
[2] Уральский федеральный университет имени первого Президента России Бориса Ельцина, Мира, 16, г. Екатеринбург, 620002, Россия

Показано, что процессом отработки горного массива, являющийся динамическим процессом, можно управлять следуя рекомендациям, которые дает теория катастроф. У этого процесса в качестве управляющих параметров являются значения энергии при взрывах и местоположение этих взрывов относительно изучаемой или отрабатываемой области массива. В качестве внутренних параметров выступают кинематические и динамические параметры деформационных волн, а также структурные особенности массива, через которые проходят эти волны. Использование методов анализа для краткосрочного и среднесрочного прогноза состояния горного массива только при использовании управляющих параметров не достаточно при наличии резкой его неоднородности. Однако совместное использование качественных рекомендаций теории катастроф и пространственно временные данные изменения внутренних параметров массива позволит предотвратить катастрофы при отработке шахтных массивов.

Ключевые слова: Теория катастроф, нелинейная динамическая среда, управляющие и внутренние параметры, сейсмический и электромаг-нитный мониторинг.

DISASTER THEORY ONE OF THE BASIC COMPONENTS OF THE ANALYSIS OF SEISMIC RESPONSES OF THE MASSIF TO ARTIFICIAL EFFECTS

O.Hachay[1], O.Khachay[2]
[1]Institute of Geophysics UB RAS, Ekaterinburg, Russia.
[2] Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia.

It is shown that the process of mining, which is a dynamic process, can be controlled by following the recommendations given by the theory of catastrophes. In this process, the control parameters are the values of the energy at the explosions and the location of these explosions relative to the studied or worked area of the massif. The internal parameters are the kinematic and dynamic parameters of deformation waves, as well as the structural features of the massif through which these waves pass. The use of analysis methods for short-term and medium-term forecasts of the state of the massif only using the control parameters is not enough because of its sharp heterogeneity. However, the joint use of qualitative recommendations of the theory of catastrophes and spatially temporal data changes of the internal parameters of the massif can prevent disasters in the mining massive.

Key words: disaster theory, nonlinear dynamic environment, control and internal parameters, seismic and electromagnetic monitoring

Введение

Для продолжения геоинформационных исследований состояния горного массива использован разработанный алгоритм обработки сейсмологической информации детального шахтного каталога [1], позволяющий извлечь дополнительную важную информацию для прогноза опасных явлений в рудных глубоких шахтах [2] при их отработке взрывными технологиями. Дополнительно акцентировано внимание на процесс подготовки резонансного выброса энергии, включающий не только непосредственное влияние взрывов, но и последовательное влияние слабо энергетических откликов, которые в свою очередь проявляются в виде толчков, способствующих подготовку резонансного выброса. Использованы информативные признаки подготовки высокоэнергетических динамических явлений: время запаздывания отклика на техногенные воздействия и объем формирования очага горного удара в виде градаций расстояний от предполагаемого очага. Полученная комплексная информация из данных сейсмологического каталога является важной для прогноза опасных явлений в рудных шахтах.

Произведено сопоставление теоретических результатов причин хаотизации нелинейных диссипативных динамических систем и результатов обработки методом фазовых диаграмм данных детального шахтного сейсмического каталога – сейсмических откликов на взрывные воздействия удароопасного массива горных пород. Из теории следует, что общей причиной хаотизации и стохастизации движений динамической системы являются потери ими устойчивости, что можно регистрировать экспоненциальным разбеганием близких фазовых траекторий, сочетающиеся с их общей ограниченностью и некоторым их общим сжатием. Этот результат совпадает с полученным анализом

фазовых диаграмм, построенных по данным сейсмического шахтного каталога [3,4].

Настоящая работа посвящена использованию подходов математической теории катастроф для анализа данных сейсмологического шахтного каталога, отражающих степень устойчивости и ее потери горным массивом при активном на него воздействии. Одной из первых работ по изучению потери квазистатического равновесия горного массива с использованием математических методов теории катастроф была работа Одинцева В.Н. [8].

Были получены важные теоретические результаты не только по оценке и прогнозу динамического состояния массива, находящегося под механическим воздействием, а и по оценке постдинамического состоянии, которая особенно важна при планировании отработки массива после горного удара. Для практического использования этих результатов необходимо было организовать мониторинговые исследования напряжений не только на контуре массива, а и внутри массива, что достаточно трудоемко. На помощь приходит мониторинг волновых геофизических полей, содержащие одновременно информацию о структуре и формирующихся напряжений в сложно построенной иерархической среде. Одной из таких баз данных является сейсмологический шахтный каталог.

Обзор методов теории катастроф для изучения потери устойчивости нелинейных динамических систем.

Первые сведения о теории катастроф появились в печати около1979г., где свидетельствовалось, что эта теория дает универсальный метод исследования всех скачкообразных переходов, разрывов, внезапных качественных изменений [9]. Следуя В.И. Арнольду [9], источниками теории катастроф являются теория особенностей гладких отображений Уитни и теория бифуркаций динамических систем Пуанкаре и Андронова. Понятие "бифуркация" означает раздвоение и употребляется для обозначения качественных перестроек различных объектов при изменении параметров, от которых они зависят. Катастрофами называются скачкообразные изменения, возникающие в виде внезапного ответа системы на плавное изменение внешних условий. Эволюционный процесс, отражающий отклик системы на приложенное воздействие математически описывается векторным полем в фазовом пространстве [10]. Точка фазового пространства задает состояние системы, а приложенный в этой точке вектор указывает на скорость изменения состояния. В точках, в которых вектор обращается в нуль, называются положениями равновесия. С течением времени в системе могут устанавливаться колебания, при этом равновесное состояние становится неустойчиво.

Эволюционный процесс математически описывается векторным полем в фазовом пространстве, а точка фазового пространства задает состояние системы, при этом приложенный в этой точке вектор указывает на скорость изменения состояния. Точки, в которых вектор обращается в нуль, называются положениями равновесия. На фазовой плоскости установившиеся колебания изображаются замкнутой кривой, называемой предельным циклом. В работе [9] изучение эволюции динамической системы связано с изменением во времени внутренних и управляющих параметров. Схема большинства применений теории катастроф состоит в следующем: предполагается, что изучаемый процесс описывается при помощи некоторого числа управляющих и внутренних параметров. Состояния равновесия процесса образуют поверхность того или иного числа измерений в этом пространстве. Проекция поверхности равновесий на плоскость управляющих параметров может иметь особенности. Эти особенности получили название особенностей общего положения, а теория, связанная с этими особенностями предсказывает геометрию "катастроф", т.е. перескоков из одного состояния в другое при изменении управляющих параметров. Одна из наиболее известных особенностей-это сборка Уитни. В связи с этим после потери устойчивости равновесия могут наблюдаться два типа установившихся режимов. Один из них колебательный периодический режим. Этот вид потери устойчивости называется мягкой потерей устойчивости, так как устанавливающийся колебательный режим при малой закритичности мало отличается от состояния равновесия. Второй вид связан со следующими особенностями: перед тем как установившийся режим теряет устойчивость, область притяжения этого режима становится очень малой, и случайные возмущения выбрасывают систему из этой области до того, как область притяжения полностью исчезает. Этот вид потери устойчивости называется жесткой потерей устойчивости, при этом система уходит со стационарного режима скачком и переходит на другой режим движения. Этот режим может быть другим устойчивым стационарным режимом, или устойчивыми колебаниями, или более сложным движением. Установившиеся режимы движения называются аттракторами. Те же из них, отличные от состояний равновесия и строго периодических колебаний названы странными аттракторами и связаны с проблемой турбулентности [10].

Анализ данных шахтного сейсмологического активного мониторинга горного массива, опираясь на схему применения теории катастроф.

Основной целью этого мониторинга является определение предкритичного состояния горного массива, находящегося под отработкой с помощью взрывных воздействий. Оно определяется величиной энергии отклика, не превышающего 10^4 джоулей. Если эта

величина превышает это значение в пределах 10^5-10^7 джоуля, то состояние массива считается критическим. При значениях энергии отклика 10^8-10^9 и более состояние массива считается закритическим или катастрофическим. 25 ноября 2007 года в шахте Таштагольского рудника в 29 орту на глубине 714м произошел горный удар с энергией $8.14 \cdot 10^8$ джоуля. Постараемся проследить подготовку этого события с точки зрения потери устойчивости массива и связи этого эффекта с энергетическим воздействием взрывов и их места положения. Исследуемый объем заключен по оси OX: 25-31 выработка (≈240м), по оси OY: (длина ортов между полевым и вентиляционном штреком в среднем ≈240м), по оси OZ:(горизонты -140, -425, (≈590-875м)).

Проанализируем морфологию временного процесса энергетических откликов массива, используя результаты анализа сейсмологического каталога с 4 июня 2006г. по 25 ноября 2007г.

4 июня 2006г. по 13 августа 2006г. Потеря устойчивости равновесия проявляется для четырех воздействий в виде колебательного процесса, при этом первый взрыв происходит в пределах исследуемого объема, однако энергия воздействия наименьшая из анализируемых четырех, поэтому максимальный энергетический отклик находится в пределах предкритических.

*20 августа 2006г. по 17 сентября 2006г.*Потеря устойчивости равновесия для двух воздействий проявляется классическим образом. Имеется отклик в виде практически постоянного распределения по времени энергии, переходящий в колебательный процесс, при этом энергия взрыва 3-го сентября превосходила 10^8 дж., а энергия взрыва 17 сентября 2006г.- 10^6 дж. в пределах исследуемого объема, однако общий уровень выделяемой энергии откликами уменьшилась и не превосходит 10^3 дж.

24 сентября 2006г. по 14 октября 2006г. Реакция на взрыв в пределах исследуемого объема имеет другую морфологию, колебательный процесс перемежается скачкообразным выбросом, после которого система возвращается к колебательному процессу, фоновый уровень которого соответствует мягкой потере устойчивости. Последующие отклики на взрывы за пределами исследуемой области носят малоамплитудный по энергии колебательный характер. 14 октября 2006г. морфология процесса на взрыв в исследуемой области носит классический характер мягкой потери устойчивости с затуханием колебательного процесса выделения энергии.

21 октября 2006г. по 12 ноября 2006г. Происходят взрывы в исследуемой области, однако морфология мягкой потери устойчивости массива проявляется более явно после взрыва 12 ноября. Почти сразу после взрыва начинается колебательный процесс выделения энергии, затем скачок, потом снова возврат в колебательное состояние и снова

скачок с амплитудой, превышающей 10^4 дж. Фоновый уровень энергетических колебаний повышается выше 10^2 дж.

19 ноября 2006г. по 17 декабря 2006г. За пределами исследуемой области происходит взрыв с энергией больше 10^9 дж., при этом исследуемый массив реагирует двумя скачкообразными выбросами энергии с величиной соответствующей скачкам 12 ноября 2006г. Последующий взрыв в исследуемой области 26 ноября 2006г. вызывает отклик массива характерный мягкой потере устойчивости на энергетическом фоне второго периода анализа. Следующий взрыв 3 декабря 2006г. вызывает снова более возбужденный отклик с колебаниями и скачками аналогично рассмотренному выше отклику третьего периода анализа

24 декабря 2006г. по 21 января 2007г. Взрыв в исследуемой области (вблизи места будущего горного удара) с энергией 10^8 дж. вызывает резкую, но еще в рамках критичной, потере устойчивости массива, два скачка с энергией чуть меньше 10^5 дж., 3 скачка с энергией 10^4дж.- 10^3 дж. Колебательный процесс имеет более интенсивный характер. Остальные взрывы, происходящие на достаточной удаленности от исследуемой области с 30 декабря 2006г. по 14 января 2007г., продолжают поддерживать колебательный процесс, вызванный взрывом 24 декабря. Взрыв 21 января с энергией меньше, чем 10^5 дж., происходящий также на большом удалении от исследуемой области не помешал скачкообразному выбросу энергии, отражающему процесс затягивания релаксации системы.

25 марта 2007г. по 8 апреля 2007г. Взрывы происходят вне исследуемой области в основном на достаточно большом удалении. Поэтому отклик массива носит случайный не колебательный характер и в основном энергия его не превышает 10^4дж., кроме отклика на взрыв от 1 апреля 2007г., когда произошел скачок энергии чуть больше, чем 10^4дж.

6 мая 2007г. по 20 мая 2007г. Взрыв произошел в северной части массива, затем 13 мая взрывы произошли одновременно в северной части и в исследуемой части массива (в орту, где в будущем произошел катастрофический горный удар) взрывы, отклик массива имеет скачок энергии 10^5 дж.

13 июня 2007г. по 16 сентября 2007г. Имеет место взаимодействие откликов исследуемого массива на воздействие взрывов, расположенных в основном вне исследуемой области, а при наличии взрыва внутри нее наблюдаются скачки энергии до 10^5 дж. без предварительного колебательного процесса.

30 сентября 2007г. по 21 октября 2007г. Происходят взрывы исключительно в исследуемой области недалеко от орта, где произошел катастрофический горный удар. Морфология распределения энергия

откликов такова, что имеется низкоэнергетическая зависимость от времени и очень короткий колебательный процесс.

Взрывы с 28 октября по 10 ноября 2007г. не выводят исследуемую область массива на стадию колебательного процесса отдачи энергии. При повторном взрыве в блоке 27 25 ноября 2007, произошел сложный динамический катастрофический процесс. Имеют место три форшока, один афтершок, четыре предкритических и один закритический скачок энергии. Все эти проявления сопровождались малоэнергетичным колебательным процессом.

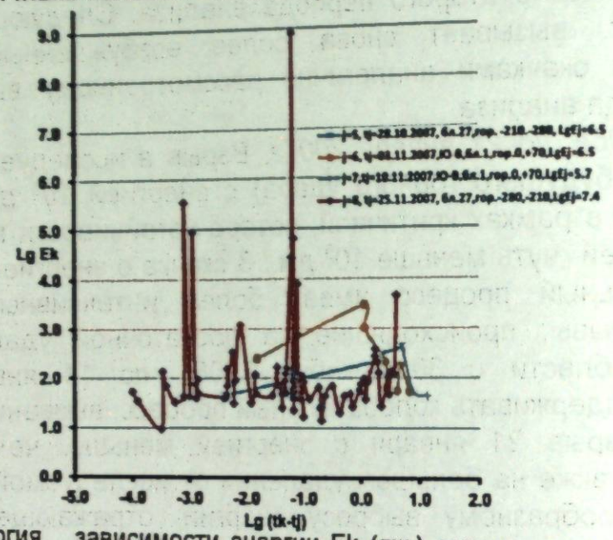


Рис.1. Морфология зависимости энергии Ek (дж.) отклика массива на взрывное воздействие во времени с 28 октября 2007г. по 25.ноября 2007г. Условные обозначения:tk-время откликов массива, tj-дата и время воздействия (в сутках), Ej-энергия воздействия (дж.)

Заключение

В результате проведенного анализа можно сделать следующие выводы. Процесс отработки горного массива является динамическим процессом, которым можно управлять следуя рекомендациям, которые дает теория катастроф. У этого процесса в качестве управляющих параметров являются значения энергии при взрывах и местоположение этих взрывов относительно изучаемой или отрабатываемой области массива. В качестве внутренних параметров выступают кинематические и динамические параметры деформационных волн [11,12], а также структурные особенности массива, через которые проходят эти волны [13]. Использование методов анализа для краткосрочного и среднесрочного прогноза состояния горного массива только при использовании управляющих параметров не достаточно при наличии резкой его неоднородности. Однако совместное использование качественных рекомендаций теории катастроф и пространственно временные данные изменения внутренних параметров массива позволит предотвратить катастрофы при отработке шахтных массивов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачай О.А. Сопоставление особенностей синергетических свойств состояния удароопасного массива горных пород, определяемых по данным сейсмического и индукционного электромагнитного мониторинга./ О.А. Хачай, О.Ю.Хачай // Мониторинг. Наука и технологии. – 2014, – № 3. – С. 50-55.
2. Хачай О.А. Информативные признаки подготовки высокоэнергетических динамических явлений по данным шахтного сейсмологического мониторинга./ О.А. Хачай, Хачай О.Ю, В.К.Климко, О.В. Шипеев // Горный Информационно-аналитический бюллетень.– 2015. – № 4. – С.155 - 216.
3. Наймарк Ю.И. Динамические системы и управляемые процессы./Ю.И.Наймарк– М.: Наука, 1978. – 336 с.
4. Хачай О.А., О построении нелинейной динамической модели отклика массива горных пород на сильные взрывные воздействия/О.А.Хачай, , О.Ю.Хачай // Геофизические исследования. – 2015. – Т.16 – № 2. – С.19- 26, UT RSCI:23569010
5. Андронов А.А. Теория колебаний./ А.А. Андронов , А.А. Витт, С.Э.Хайкин –2-е изд., перераб. и испр. – М.: Наука, 1981. – 918 с.
6. Ляпунов, А.М. Собрание сочинений в трех томах./А.М. Ляпунов. – М.:, Л.: Изд-во АН СССР, 1954-1959. – 446, 472, 374 с.
7. Пуанкаре, А. Избранные труды в трех томах./А.Пуанкаре. – М. :Наука, 1971-1974. – 776, 901, 703 с.
8. Одинцев В.Н. Метод аналитического прогноза динамических проявлений горного давления./В.Н.Одинцев //ФТПРПИ. –1995. – №4. –С.12-24.
9. Арнольд, В.И. Теория катастроф./В.И.Арнольд–3-е изд., доп.– М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат.лит., 1990. – 128 с.
10. Климонтович, Ю.Л. Турбулентное движение и структура хаоса. /Ю.Л.Климонтович. – М.: Ком Книга, 2007. – 328 с.
11. Хачай О.А. Динамические характеристики медленных волн деформации как отклика массива на взрывные воздействия / О.А. Хачай, О.Ю. Хачай, В.К. Климко // Горный Информационно-аналитический бюллетень. – 2013, –№ 5. – С. 208-214.
12. Хачай О.А. Исследование иерархической структуры динамических характеристик медленных деформационных волн - отклика на взрывные воздействия./ О.А. Хачай, О.Ю. Хачай, О.В. Шипеев // Горный Информационно-аналитический бюллетень. – 2013, – № 5. – С. 215-222.
13. Хачай О. А. Изучение нелинейного динамического состояния горного массива по данным сейсмического каталога в глубоких шахтах при техногенных воздействиях/О.А. Хачай, О.Ю. Хачай, В.К. Климко, О.В. Шипеев // Горный Информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 4. – С.217 -230.

УДК 550.830, 539.3

АКУСТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СЛОИСТО-БЛОКОВЫХ УПРУГИХ СРЕД С ИЕРАРХИЧЕСКИМИ СОСТАВНЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

О.А.Хачай[1], А.Ю.Хачай[2]
[1] Институт геофизики УрО РАН им. П. Булашевича, ул. Амундсена, 100, Екатеринбург, 620016, Россия
[2] Уральский федеральный университет имени первого Президента России Бориса Ельцина, Мира, 16, г. Екатеринбург, 620002, Россия

Геологическая среда с многоуровневой иерархической структурой и свойствами прочности требует регулярного изучения устойчивости ее состояния. С этой целью был разработан новый метод моделирования акустического мониторинга слоисто-блочной среды с несколькими включениями с различными физико-механическими иерархическими структурами, которые расположены в разных слоях один поверх другого: верхний слой аномально пластичный, второй аномально упругий, а третий - аномально плотностной. Степень заполнения включений каждого ранга для всех трех иерархических включений может быть разной. Результаты моделирования могут использоваться для настройки системы мониторинга для исследований устойчивости структур сложной иерархической структуры при различных механических воздействиях.

Ключевые слова: сложная иерархическая среда, акустическое поле, итерационный алгоритм, интегрально-дифференциальные уравнения и прямая задача.

ACOUSTIC MONITORING OF LAYERED BLOCK ELASTIC MEDIA WITH HIERARCHICAL COMPOSITE PHYSICAL AND MECHANICAL INCLUSIONS

O.Hachay[1], A.Khachay[2]
[1]Institute of Geophysics UB RAS, Ekaterinburg, Russia.
[2] Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia.

Geological environment with multilevel hierarchical structure and strength properties requires regular study of its stability. For this purpose, a new method was developed for modeling acoustic monitoring of layered block medium with several inclusions with different physical and mechanical hierarchical structures, which are located in different layers one on top of the other: the upper layer is abnormally plastic, the second is abnormally elastic, and the third is abnormally dense. The degree of filling of the inclusions of each rank for all three hierarchical inclusions can be different. The results of the simulation can be used to set up a monitoring system to study the stability of structures of complex hierarchical structures under various mechanical influences.

Keywords: complex hierarchical environment, acoustic field, iterative algorithm, integral-differential equations and direct problem.

Введение

Идея многомасштабных явлений в твердых телах при их пластической деформации и разрушении была сформулирована в Томской школе физики твердого тела как концепция структурных уровней деформации твердых тел [1]. Структурные уровни деформации относятся к классу мезоскопических масштабов. Не всегда осознается, что мезоскопический подход является принципиально новой парадигмой, качественно отличной от методологии механики сплошных сред (макромасштабный подход) и дислокационной теории (микромасштабный подход). Экспериментальные и теоретические исследования мезоскопических структурных уровней деформации привели к качественно новой методологии описания деформируемого тела как многоуровневой самосогласованной системы. Сформированные на разных уровнях шкалы дезориентированные подструктуры являются крупномасштабным инвариантом. Это является основой для построения многоуровневой модели деформируемого твердого тела, в которой учитывается вся иерархия масштабов структурных уровней деформации. В ближайшие десятилетия следует рассмотреть наиболее актуальные области работы в области физической мезомеханики: применение методов физической мезомеханики структурно-неоднородных сред к проблемам современной материаловедения, в том числе наноматериалов, тонких пленок и многослойных структур, поверхностных упрочнение и применение упрочняющих и защитных покрытий. При построении математической модели реального объекта необходимо использовать в качестве априорной информации активные и пассивные данные мониторинга, полученные в ходе текущей работы объекта. В [2,3] алгоритмы моделирования были построены в электромагнитном случае для трехмерных неоднородностей, в сейсмическом случае для двумерных неоднородностей для произвольного типа источника возбуждения среды N-слоя с иерархическим упругим включением, расположенным в J-ом слое. В работе [4] был разработан новый 2D-алгоритм моделирования

дифракции звука на упругом и пористом, влагонасыщенном включении иерархической структуры, расположенной в *J*-м слое *N*-слойной упругой среды. В [5] были построены алгоритмы моделирования в акустическом случае для двумерной неоднородности для произвольного типа источника возбуждения среды N-слоя с отдельной иерархической аномальной плотностью, напряженным и пластическим включением, расположенным в J-м слое. В этой работе, используя метод, описанный в [6,9], был разработан алгоритм моделирования акустического поля (продольной акустической волны) в виде итерационного процесса для решения прямой задачи для трех иерархических включений: l, m, s-их ранги с использованием двумерных интегральных и интегро-дифференциальных уравнений. Степень иерархии включений определяется значениями их рангов, которые могут быть разными. Иерархические включения расположены в разных слоях друг над другом: верхний аномально пластичный (в слое j-1), второй аномально упругий (в слое j), а третий аномально плотностной (в слое j + 1) (рис. 1)

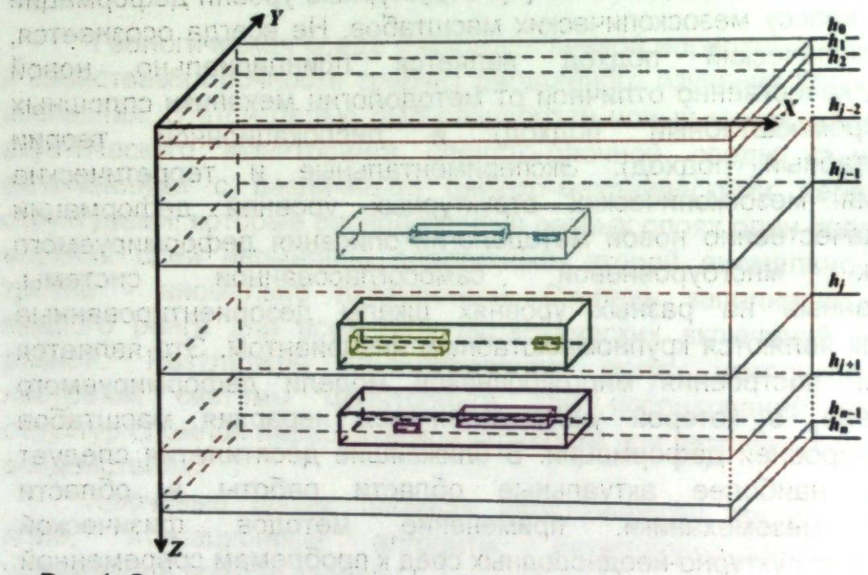


Рис. 1. Схема составных аномально пластических (верхних), аномально упругих (средних) и аномально плотностных (нижних) неоднородностей иерархического типа, расположенных в упругой среде N-слоя.

Алгоритм моделирования дифракции звука на двумерной n-слоисто-блочной среде с составными иерархическими включениями

В работах [5, 6] описан алгоритм моделирования дифракции продольной волны на двумерном упругом иерархическом включении, расположенном в *J*-слое *N*-слойной среды. $G_{Sp,J}(M,M^0)$- функция источника сейсмического поля, краевая задача которой была

$$k_{1ji}^2=\omega^2(\sigma_{ji}/\lambda_{ji}) \quad (1),$$

где - волновое число в упругой среде для продольной волны, в приведенном выше выражении индекс *ji* обозначает свойство среды внутри неоднородности, *ja* обозначает свойство среды вне неоднородности, λ - постоянная Ламе, σ - плотность среды, ω - круговая частота, $\lambda_{ji}\neq\lambda_{ja},\sigma_{ji}\neq\sigma_{ja},\vec{u}=grad\varphi$ - вектор смещения, φ^0-потенциал сейсмического поля в слоистой среде в отсутствие неоднородности: $\varphi_{ji}^0=\varphi_{ja}^0$. φ_l^0- потенциал нормального сейсмического поля в слоистой среде в отсутствие неоднородности предыдущего ранга *l*, если *l* = 2 ... *L* $\varphi_l^0=\varphi_{l-1}$, если l = 1 $\varphi_l^0=\varphi^0$, что совпадает с соответствующим выражением [5]. Предположим [9], что: $k_{1jil}^2=\omega^2(\sigma_{jil}/(\lambda_{jil}+\lambda'_{jil}\omega_{1jil})$ (2), где $\omega\neq\omega_{1jil}$ и $\lambda_{jil}\neq\lambda'_{jil}$для всех рангов *l*, определяемых влиянием внутреннего трения при включении по модели Фохта [10]. Тогда акустическое зондирование второго иерархического включения будет происходить либо на двух независимых частотах, либо в определенном интервале частот между ω и ω_{1jil}с совместным эффектом упругих параметров первого включения: λ_{1ji} и λ'_{1jil}. Эти свойства будут отражены далее в возбуждении второго и третьего иерархических включений, а затем при переходе от одного иерархического уровня к другому. Пусть значения ранга для всех иерархических включений: *l* = *m* = *s* = 1, то система уравнений, описывающая распространение продольной акустической волны в первом включении, будет записана как:

$$\begin{aligned}
&\frac{(k_{1(j-1)il}^2-k_{1(j-1)}^2)}{2\pi}\iint_{S_{1Cl}}\varphi_l(M)G_{Sp,(j-1)}(M,M^0)d\tau_M+\frac{\sigma_{(j-1)a}}{\sigma_{(j-1)il}}\varphi_{l-1}^0(M^0)-\\
&-\frac{(\sigma_{(j-1)a}-\sigma_{(j-1)il})}{\sigma_{(j-1)il}2\pi}\int_{C_{1l}}G_{Sp,(j-1)}\frac{\partial\varphi_l}{\partial n}dc=\varphi_l(M^0),M^0\in S_{1Cl};\\
&\frac{\sigma_{(j-1)il}(k_{1(j-1)il}^2-k_{1(j-1)}^2)}{\sigma(M^0)2\pi}\iint_{S_{1Cl}}\varphi_l(M)G_{Sp,(j-1)}(M,M^0)d\tau_M+\varphi_{l-1}^0(M^0)-\\
&-\frac{(\sigma_{(j-1)a}-\sigma_{(j-1)il})}{\sigma(M^0)2\pi}\int_{C_{1l}}G_{Sp,(j-1)}\frac{\partial\varphi_l}{\partial n}dc=\varphi_l(M^0),M^0\notin S_{1Cl};
\end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
&\frac{\sigma_{jil}(k_{1jil}^2-k_{1j}^2)}{\sigma(M^0)2\pi}\iint_{S_{1Cl}}\varphi_l(M)G_{Sp,j}(M,M^0)d\tau_M+\varphi_{l-1}^0(M^0)-\\
&-\frac{(\sigma_{ja}-\sigma_{jil})}{\sigma(M^0)2\pi}\int_{C_{1l}}G_{Sp,j}\frac{\partial\varphi_l}{\partial n}dc=\varphi_l(M^0),M^0\in\Pi_j;
\end{aligned} \quad (4)$$

Вычисляем $\varphi_l(M^0),M^0\in\Pi_j$ в слое, где расположено второе иерархическое упругое включение, с использованием выражения (4), потенциал нормального акустического поля для второго включения записывается в

виде: $\varphi^0_{m-1}(M^0)=\varphi_l(M^0), M^0 \in \Pi_j$ система уравнений для второго упругого иерархического включения ранга m = 1 имеет вид согласно [5,6]:

$$\frac{(k^2_{1jim}-k^2_{1j})}{2\pi}\iint_{S_{2Cm}}\varphi_m(M)G_{Sp,j}(M,M^0)d\tau_M+\frac{\sigma_{ja}}{\sigma_{jim}}\varphi^0_{m-1}(M^0)-\frac{(\sigma_{ja}-\sigma_{jim})}{\sigma_{jim}2\pi}\int_{C_{2m}}G_{Sp,j}\frac{\partial\varphi_m}{\partial n}dc=$$

$$=\varphi_m(M^0), M^0 \in S_{2Cm};$$

$$\frac{\sigma_{jim}(k^2_{1jim}-k^2_{1j})}{\sigma(M^0)2\pi}\iint_{S_{2Cm}}\varphi_m(M)G_{Sp,j}(M,M^0)d\tau_M+\varphi^0_{m-1}(M^0)-\frac{(\sigma_{ja}-\sigma_{jim})}{\sigma(M^0)2\pi}\int_{C_{2m}}G_{Sp,j}\frac{\partial\varphi_m}{\partial n}dc=$$

$$=\varphi_m(M^0), M^0 \notin S_{2Cm};$$

$$\frac{\sigma_{(j+1)im}(k^2_{1(j+1)im}-k^2_{1(j+1)})}{\sigma(M^0)2\pi}\iint_{S_{2Cm}}\varphi_m(M)G_{Sp,(j+1)}(M,M^0)d\tau_M+\varphi^0_{m-1}(M^0)-$$

$$-\frac{(\sigma_{(j+1)a}-\sigma_{(j+1)im})}{\sigma(M^0)2\pi}\int_{C_{2m}}G_{Sp,(j+1)}\frac{\partial\varphi_m}{\partial n}dc=\varphi_m(M^0), M^0 \notin S_{2Cm}, \in \Pi_{j+1};$$

(6)

Вычислим $\varphi_m(M^0), M^0 \notin S_{2Cm}, \in \Pi_{j+1}$, в слое, где расположено третье иерархическое включение аномальной плотности, с использованием выражения (6), тогда нормальный потенциал акустического поля запишется в виде: $\varphi^0_{s-1}(M^0)=\varphi_m(M^0), M^0 \in \Pi_{j+1}$.

$$\frac{(k^2_{1(j+1)is}-k^2_{1(j+1)})}{2\pi}\iint_{S_{3Cs}}\varphi_s(M)G_{Sp,(j+1)}(M,M^0)d\tau_M+\frac{\sigma_{(j+1)a}}{\sigma_{(j+1)is}}\varphi^0_{s-1}(M^0)-$$

$$-\frac{(\sigma_{(j+1)a}-\sigma_{(j+1)is})}{\sigma_{(j+1)is}2\pi}\int_{C_{3s}}G_{Sp,(j+1)}\frac{\partial\varphi_s}{\partial n}dc=\varphi_s(M^0), M^0 \in S_{3Cs};$$

$$\frac{\sigma_{(j+1)is}(k^2_{1(j+1)is}-k^2_{1(j+1)})}{\sigma(M^0)2\pi}\iint_{S_{3Cs}}\varphi_s(M)G_{Sp,(j+1)}(M,M^0)d\tau_M+\varphi^0_{s-1}(M^0)-$$

$$-\frac{(\sigma_{(j+1)a}-\sigma_{(j+1)is})}{\sigma(M^0)2\pi}\int_{C_{3s}}G_{Sp,(j+1)}\frac{\partial\varphi_s}{\partial n}dc=\varphi_s(M^0), M^0 \notin S_{3Cs} \in \Pi_{j+1};$$

(7)

Упругие параметры третьего иерархического включения для всех рангов s и вмещающего слоя идентичны, а плотность иерархического включения для всех рангов отличается от плотности вмещающей среды, тогда система уравнений для третьего иерархического включение ранга s = 1 имеет вид согласно [5]: (7). $G_{Sp,(j+1)}(M,M^0)$- функция источника сейсмического поля, она совпадает с функцией [7,8], $k^2_{1(j+1)is}=\omega^2(\sigma_{(j+1)is}/(\lambda_{(j+1)is})$; $\lambda_{(j+1)is}=\lambda_{(j+1)a}$; - волновое число для продольной волны и параметры упругости для всех s, в приведенном выше выражении индекс ji обозначает свойство среда внутри неоднородности, ja - вне неоднородности, s = 1 ... S - число иерархического уровня, $\varphi^0_{s-1}(M^0)=\varphi_m(M^0), M^0 \in \Pi_{j+1}$ является потенциалом нормального акустического поля в слое j + 1 в отсутствие третьей неоднородности прежнего ранга. Мы вычисляем $\varphi_s(M^0), M^0 \notin S_{3Cs} \in \Pi_{j-1}$ в слое j-1 с помощью выражения (8):

$$\frac{\sigma_{(j-1)is}(k^2_{1(j-1)is}-k^2_{1(j-1)})}{\sigma(M^0)2\pi}\iint_{S_{3Cs}}\varphi_s(M)G_{Sp,(j-1)}(M,M^0)d\tau_M+\varphi^0_{s-1}(M^0)-$$

$$-\frac{(\sigma_{(j-1)a}-\sigma_{(j-1)is})}{\sigma(M^0)2\pi}\int_{C_s}G_{Sp,(j-1)}\frac{\partial\varphi_s}{\partial n}dc=\varphi_s(M^0), M^0 \notin S_{3Cs} \in \Pi_{j-1};$$

(8)

Значения L, M и S являются максимальными значениями рангов иерархии для трех включений. В этой работе L = 3, M = 3, S = 4. (8')

$l = l + 1$; $m = m + 1$; $s = s + 1$. Если l <3 или l = 3, $\varphi^0_{l-1}(M^0)=\varphi_{s-1}(M^0), M^0 \in \Pi_{j-1}$ то обратимся к алгоритму (3) - (8). Если l> 3 и m = 2, то мы вычисляем в слое $j\varphi_s(M^0), M^0 \notin S_{3Cs} \in \Pi_j$ с с использованием выражения (9):

$$\frac{\sigma_{jis}(k^2_{1jis}-k^2_{1j})}{\sigma(M^0)2\pi}\iint_{S_{3Cs}}\varphi_s(M)G_{Sp,j}(M,M^0)d\tau_M+\varphi^0_{s-1}(M^0)-\frac{(\sigma_{ja}-\sigma_{jis})}{\sigma(M^0)2\pi}\int_{C_s}G_{Sp,(j)}\frac{\partial\varphi_s}{\partial n}dc=$$

$$=\varphi_s(M^0), M^0 \notin S_{3Cs} \in \Pi_j; \quad (9)$$

$\varphi^0_{m-1}(M^0)=\varphi_{s-1}(M^0), M^0 \in \Pi_j$ и перейдем к алгоритму (5) - (8), если m = 3, $\varphi^0_{m-1}(M^0)=\varphi_{s-1}(M^0), M^0 \in \Pi_j$ перейдем к алгоритму (5) - (8). Если m> 3 и s <4 или s = 4, $\varphi^0_{s-1}(M^0)=\varphi_{s-1}(M^0), M^0 \in \Pi_{j+1}$ то переходим к (7) - (8). Если s> 4, переходим к (10).

$$\frac{\sigma_{jis}(k^2_{1jis}-k^2_{1j})}{\sigma(M^0)2\pi}\iint_{S_{3Cs}}\varphi_s(M)G_{Sp,j}(M,M^0)d\tau_M+\varphi^0_{s-1}(M^0)-\frac{(\sigma_{ja}-\sigma_{jis})}{\sigma(M^0)2\pi}\int_{C_s}G_{Sp,j}\frac{\partial\varphi_s}{\partial n}dc=$$

$$=\varphi_s(M^0), M^0 \notin S_{3Cs} \in \Pi_j; \quad (10)$$

Мы вычисляем $\varphi_s(M^0), M^0 \notin S_{3Cs} \in \Pi_j$ во всех слоях j = *1*, ... N, используя выражение (10). Алгоритм останавливается, если ряды иерархии становятся больше заданных чисел (8 '). Если на некотором иерархическом уровне структура локальной неоднородности распадается на несколько неоднородностей, то двойные и контурные интегралы в выражениях (3-10) берутся по всем неоднородностям данного ранга.

Выводы

Итерационные алгоритмы моделирования строятся в сейсмическом случае в акустическом приближении для сложной иерархической неоднородности. Впервые предложенный итерационный алгоритм для моделирования иерархически сложной иерархической среды может использоваться для мониторинга устойчивости сложных иерархических структур при различных механических воздействиях. Этот алгоритм может быть распространен на более сложные много ранговые иерархические среды с различными физико-механическими свойствами. Следующая статья будет посвящена анализу распространения поперечных и нелинейных акустических волн через среды, содержащие иерархические структуры с различными физико-механическими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панин, В.Е. Структурные уровни деформации твердых тел./В.Е.Панин, В.А. Лихачев, Ю.В. Гриняев. – Новосибирск: Наука, 1985. –254с.
2. Хачай О.А. О комплексировании сейсмических и электромагнитных методов для картирования и мониторинга состояния двумерных неоднородностей в N- слойной среде./О.А.Хачай, А.Ю. Хачай // Бюллетень ЮУРГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». –2011. – 2 (219). –С. 49-56.
3. Хачай О.А. Моделирование сейсмического и электромагнитного поля в иерархически неоднородных средах./О.А.Хачай, А.Ю. Хачай // Бюллетень ЮУРГУ.Серия «Вычислительная математика и информатика». –2013. – 2 (2). –С. 48-55.
4. Хачай О.А. Отражение процессов неравновесной двухфазной фильтрации в нефтенасыщенных иерархических средах в данных активного волнового геофизического мониторинга./О.А. Хачай, А.Ю. Хачай // Горный Информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – 4. –С. 232-238.
5. Хачай О.А. Комплексирование акустических, гравитационных, и геомеханических полей в иерархических средах./ О.А. Хачай, О.Ю. Хачай, А.Ю. Хачай.// Горный Информационно-аналитический бюллетень –2017. – 4. –С. 328-336.
6. Хачай О.А. Новые методы геоинформатики мониторинга волновых полей в иерархических средах./ О.А. Хачай, О.Ю.Хачай, А.Ю. Хачай // Геоінформатика.– 2015. – № 3. –С.45-51.
7. Хачай А.Ю. Алгоритм решения прямой динамической задачи сейсмики при возбуждении горизонтальной точечной силой, расположенной в произвольном слое *N*-слойной упругой изотропной среды./А.Ю.Хачай // Информатика и математическое моделирование. /УрГУ –Екатеринбург, 2006 а, –С. 170-278.
8. Хачай А.Ю. Алгоритм решения прямой динамической задачи сейсмики при возбуждении точечным источником вертикальной силы, расположенной в произвольном слое *N*-слойной упругой изотропной среды./ А.Ю.Хачай // Информатика и математическое моделирование.//УрГУ –Екатеринбург, 2006 б, –С. 279-310.
9. Хачай О.А. Моделирование распространения сейсмического поля в слоисто-блоковой упругой среде с иерархическими пластическими включениями. / О.А.Хачай, А.Ю. Хачай // Горный Информационно-аналитический бюллетень – 2016. –№12. –С.318-326.
10. Кольский, Г. Г. Волны напряжений в твердых телах./Г.Г.Кольский. –М.: Издание иностранной литературы, 1955. – 216с.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ
Выпуск тридцать третий (3), 2018 г.

УДК 550.834

ПРИРОДА СЕЙСМИЧЕСКИХ ГРАНИЦ В КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ КОРЕ С УЧЕТОМ МАТЕРИАЛОВ СВЕРХГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ

Н.В.Шаров
Институт геологии Карельского научного центра РАН,
Петрозаводск, Россия sharov@krc.karelia.ru

Проанализированы результаты бурения глубоких скважин на территории Фенноскандинавского щита, которые выявили серьезные несоответствия между прогнозными сейсмогеологическими моделями и фактическим строением верхней части континентальной коры. Сделана попытка понять природу сейсмических границ в кристаллической коре с учетом материалов глубокого бурения и накопленной геолого-геофизической информацией по району бурения этих скважин.

Ключевые слова: сейсмические границы, сверхглубокие скважины, кристаллическая кора, Фенноскандинавский щит.

THE ORIGIN OF SEISMIC BOUNDARIES IN THE CRYSTALLINE CRUST FROM SUPERDEEP DRILLING RECORD

N.V. Sharov
Institute of Geology, Karelian Research Centre, RAS,
Petrozavodsk, Russia sharov@krc.karelia.ru

Deep drilling was conducted in several regions of the Fennoscandian Shield. The results obtained were analyzed. They show considerable discrepancies between forecast seismic-geological models and the actual structure of the upper portion of the continental crust. An attempt to interpret the origin of seismic boundaries in the crystalline crust from deep drilling record and available geological and geophysical data on the drilling area was made.

Keywords: seismic boundaries, superdeep drillholes, crystalline crust, Fennoscandian Shield.

Введение.

Сделана попытка понять природу сейсмических границ в кристаллической коре с учетом материалов глубокого бурения и накопленной геолого-геофизической информацией по району бурения этих скважин. Проанализированы результаты бурения глубоких скважин

(рис. 1) на территории Фенноскандинавского щита: Кольской, Россия (SG-3) до глубины 12262 м (1970-1990 гг.); Гравберг (GR) и Штенберг в Центральной Швеции до глубины 6337 м (1986-1987 гг.); и 6529 м (1991-1992гг.); Оутокумпу (OU) в юго-восточной Финляндии до глубины 2516 м (2004- 2005 гг.); Пограничная (P-1), Россия в Мурманской области на полуострове Средний, до глубины 5200 м (2004-2006 гг.); Онежской (ON), Россия в Центральной Карелии, до глубины 3537 м (2007-2008 гг.), которые выявили серьезные несоответствия между прогнозными сейсмогеологическими моделями и фактическим строением верхней части континентальной коры.

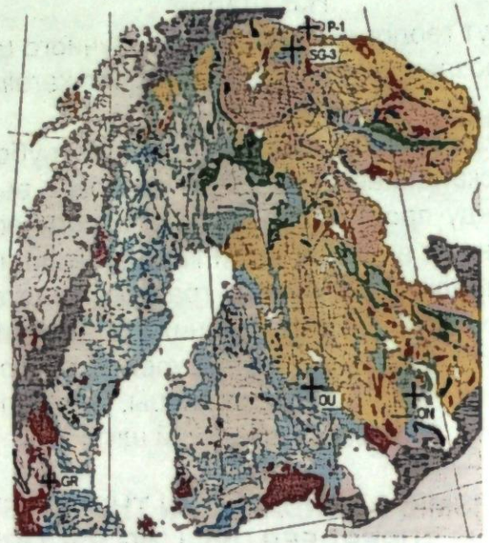


Рис. 1. Фрагмент геологическая карта Фенноскандинавского щита [10] и местоположение глубоких скважин.

Глубокие скважины доказали, что неоднородности, фиксируемые по геофизическим данным в верхней части кристаллической коры, обусловлены
изменениями не только состава глубинных пород, но и их физического состояния. Поэтому определение даже приближенного состава пород по значениям только скорости упругих волн не может быть однозначным. Они показали реальность и природу зон пониженной скорости упругих волн в верхней части коры, не подтвердили усилия гомогенности слоев с глубиной. Природа внутрикоровых сейсмических границ может быть связана с различными причинами: изменением вещественного состава, различием в структурно-текстурных особенностях пород, термодинамической обстановкой [8].

Кольская сверхглубокая скважина (SG-3) отрыла новую эпоху в изучении континентальной коры [3; 4]. Она показала, что наши знания даже о верхних слоях земной коры несовершенны. Вертикальная мощность Печенгского комплекса в районе SG-3 составила 6800 м, а не 4700, как это определялось ранее по данным гравиразведочных и

сейсмических работ [5]. Бурение SG-3 показало, что принимаемая на стадии проектирования скважины наклонная сейсмическая граница отражает не подошву Печенгского комплекса, а крупный межслоевый разлом (рис. 2).

Вертикальная мощность гнейсов Кольской серии по скважине SG-3 составила 4900 м (от 6800 до 11700 м). С глубины 7300 м на всем протяжении разреза степень насыщенности гнейсовых толщ амфиболитами возрастает от 15 до 40%. Под гнейсовыми образованиями в интервале 11700-12236 м вскрыт древний фундамент или комплекс архейского основания. Его можно рассматривать или как низы гранитно-метаморфического слоя, или как верхнюю часть нового (диоритового) слоя [4]. Впервые были получены прямые данные о составе и строении древней кристаллической коры до глубины 12262 метра. Установлено присутствие рудной минерализации и флюидов вплоть до максимальной глубины скважины и изменились представления о природе геофизических границ.

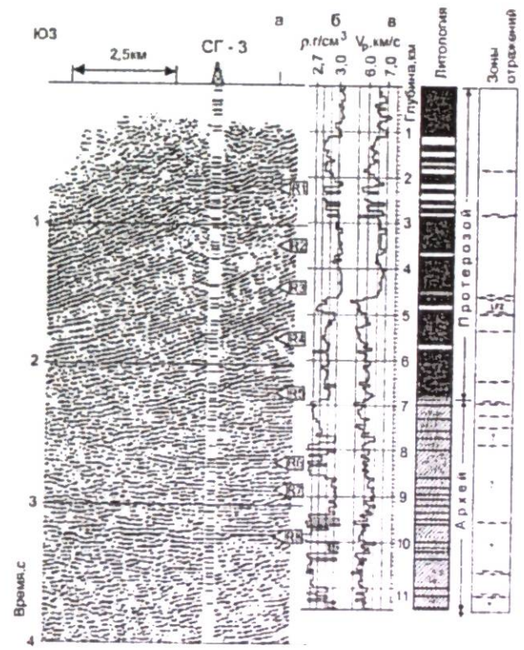


Рис. 2. Сопоставление данных сейсморазведки, плотностных и упругих свойств горных пород по скв. СГ-3 [8]. – северная часть мигрированного разреза по профилю КОЛА ОГТ-92; б – график распределения плотности ρ горных пород; в – график скорости продольных волн по данным АК.

Скважина Пограничная **(Р-1).** Пробурено 4 скважины: Р-1 до 5200 м; R -1 до 3001 м; R-2 до800 м; К-1 до 1000 м. Две поисковые скважины R-2 и К-1 вскрыли на глубине 790 м и 800 м тектонические брекчии с устойчивым долговременным притоком газа (метан, этан).

Скважина Пограничная-1, глубиной 5200 м, прошла вулканогенно-осадочные протерозойские отложения и на глубине 1100 м вскрыла архейские плагиогнейсы, таким образом, границы между рифейскими породами и фундаментом находиться на глубине 1100 м.

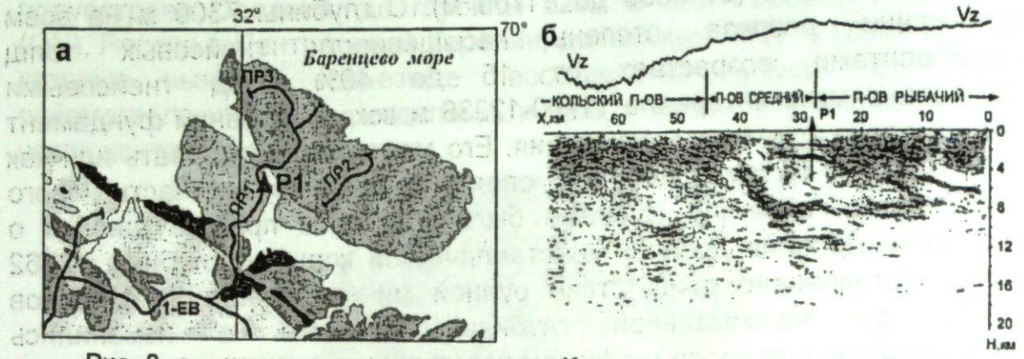


Рис. 3. а – изученность северо-запада Кольского полуострова сейсмическими методами ОГТ и положение скважины Пограничной (Р1); б – Глубинный разрез ОГТ и график гравитационного поля по профилю 1 [7].

По данным ОГТ выделены две отражающие границы на глубине 1200 м и 2300 м (рис. 3а,б). Здесь отмечается целая серия динамически выраженных «сильных» отражающих границ. Их реальное существование не могло вызывать никаких сомнений. Эти границы должны были быть зафиксированы в материалах бурения, хотя их положение по глубине могло отличаться от буровых данных на несколько процентов в силу погрешности определения скорости сейсмических волн. Сам структурный характер сейсмического разреза позволял уверенно говорить о наличии мощного расслоенного осадочного чехла верхнего протерозоя, по крайней мере, до глубины около 2,5 км. Ниже в разрезе картина становится существенно нерегулярной (неслоистой). Но, тем не менее, предполагалось продолжение рифейских осадочных образований, в виде мощной клиноформы образований на склоне щита. Подошва клиноформы предполагалась на полуострове Рыбачий на глубине 8 км, где, возможно, могла находиться поверхность кристаллического фундамента $AR\text{-}PR_1$.

Таким образом, анализ геофизических данных по зоне перехода от Фенноскандинавского щита к Баренцевоморской плите показывает, что в сейсмическом волновом поле отражений ОГТ обоснованно выделены опорные коровые отражающие горизонты. Геологическая трактовка этих границ, как показали данные бурения, принципиально отличается от первоначальной интерпретации разреза [7], основанной на исходной концепции о значительной роли надвиговой тектоники в районе сочленения п-овов Средний и Рыбачий. Приведенные данные о тектонике региона по результатам изучения гравитационного и

магнитного полей не подтверждают столь значительных вертикальных перемещений. В целом мощность рифейского терригенного комплекса на п-ове Средний не превосходит 1,0-1,5 км, а на п-ове Рыбачий составляет не более 4-5 км [1].

Скважина Гравберг (GR). В 1985 г. проведены сейсмические исследования МОВ по серии профилей в пределах кольцевой гранитной структуры Сильян (Центральная Швеция) и сопоставление их с данными бурения двух сверхглубоких скважин Гравберг (6337 м) [9] и в пяти км от нее Штемберг (6529 м) [12]. Сейсмические профили пересекут эту структуру в меридиональном и широтном направлениях. Наиболее интересный результат проведения сейсмических исследований – установление в разрезе северной части кольцевой структуры Сильян серии субгоризонтальных отражающих горизонтов (рис. 4). Три верхних из них вскрыты скважиной Гравберг, глубина которой 6337 м. Оказалось, что горизонты связаны с долеритовыми интрузиями мощностью 20 и 60 м и тонкорасслоенной зоной с мощностью отдельных слоев 3-9 м. Интрузии поступили в гранитный массив по разломам. Отражающие горизонты обусловлены, таким образом контактами принципиально разных пород и тектоническими плоскостями.

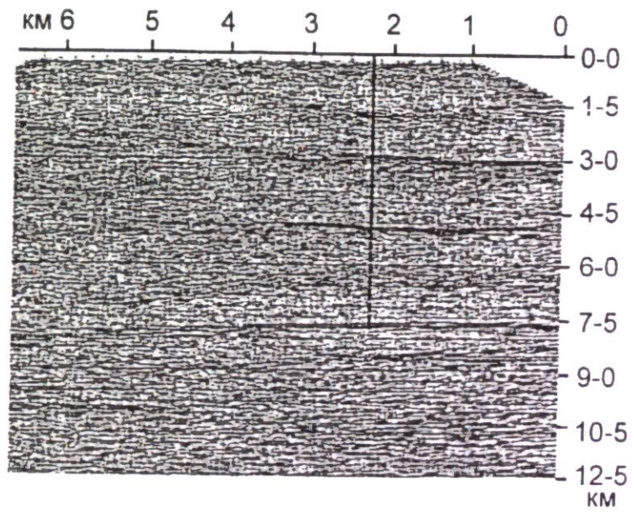


Рис. 4. Сейсмический разрез ОГТ и положение скважины Гравберг [9].

Скважина Оутокумпу. Заложена в юго-восточной части Финляндии около отработанного полиметаллического месторождения. Скважина глубиной 2516 м, прошла зону контакта пород архей-протерозой на глубине 1310 м. Сейсмические построения (рис. 5 а) позволили предположить, что основные породы разреза могут быть представлены слюдистыми и черными сланцами. На глубине 1310 м расположена граница, разделяющая породы протерозойского возраста и архейского фундамента. В интервале 1400 -1900 м предполагалось

наличие метаморфических пород. Реальный разрез показал (рис. 5 б), что в верхней части скважины до глубины 1310 м вскрыты слюдистые сланцы. Интервал 1310 – 1515 м сложен перемежающимися слоями черных сланцев, биотитовых гнейсов, серпентинитов. В интервале глубин 1655 - 2516 м слюдистые сланцы перемежаются со слоями биотитовых гнейсов, пегматоидных гранитов.

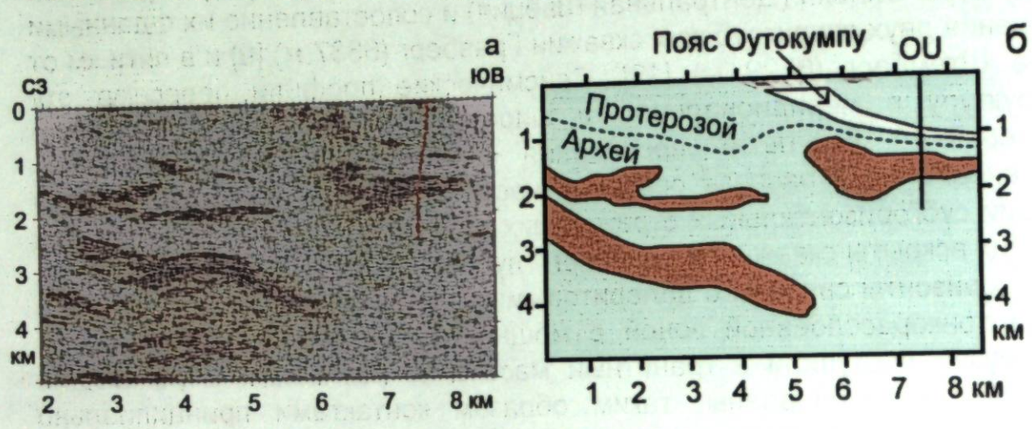


Рис. 5. Мигрированный разрез ОГТ, положение скважины Оутокумпу (а) и геолого-геофизический разрез (б) района бурения скважины OU [11].

Онежская параметрическая скважина (ON). Вскрыт непрерывный раннедокембрийский разрез мощностью 3537 м, включающий граниты фундамента позднеархейского возраста и главные стратоны ранних карелид, представленные ятулийским, людиковийским и калевийским надгоризонтами. В процессе бурения изучался керн, а также выполнена комплексная интерпретация материалов геофизических исследований скважин (ГИС) и вертикального сейсмического профилирования (ВСП).

В ON в интервале 2750,8-2944,0 м вскрыта соленосная (галитовая) толща. Галитовые породы в разрезе Онежской структуры встречены впервые. По возрасту (ранний докембрий, ятулийский надгоризонт) эта соль является наиболее древней из известных на сегодняшний день. Общая мощность соленосной толщи 193,2 м [2;6].

По данным исследования керна (рис. 6) состав и структура соленосной толщи достаточно однородная. Породы имеют насыщенный красный цвет, который на отдельных интервалах переходит в грязно-серый со слабым розовым оттенком. Порода на 70-75% состоит из среднезернистого (3-6 мм) галита, частично растворенных кристаллов ангидрита (12-20%) размером 2-3 мм, мелких (0,5-2 мм), хорошо обработанных кристаллов магнезита (10-15%).

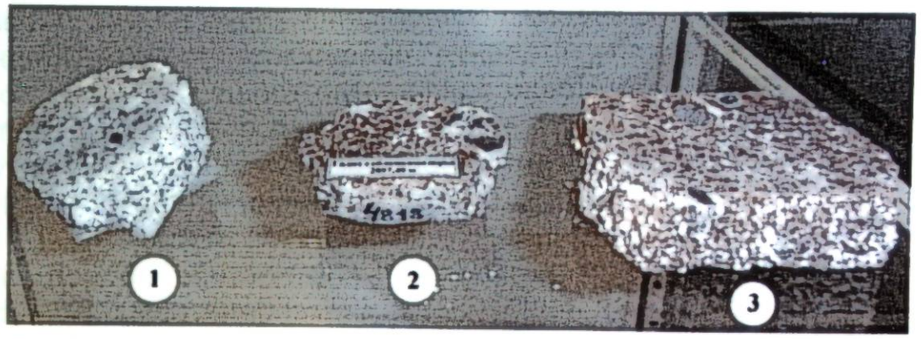


Рис. 6. Образцы пород соленосной толщи ОПС: 1 - 2868.5 м; 2 - 2897.4 м; 3 - 2905.6 м.

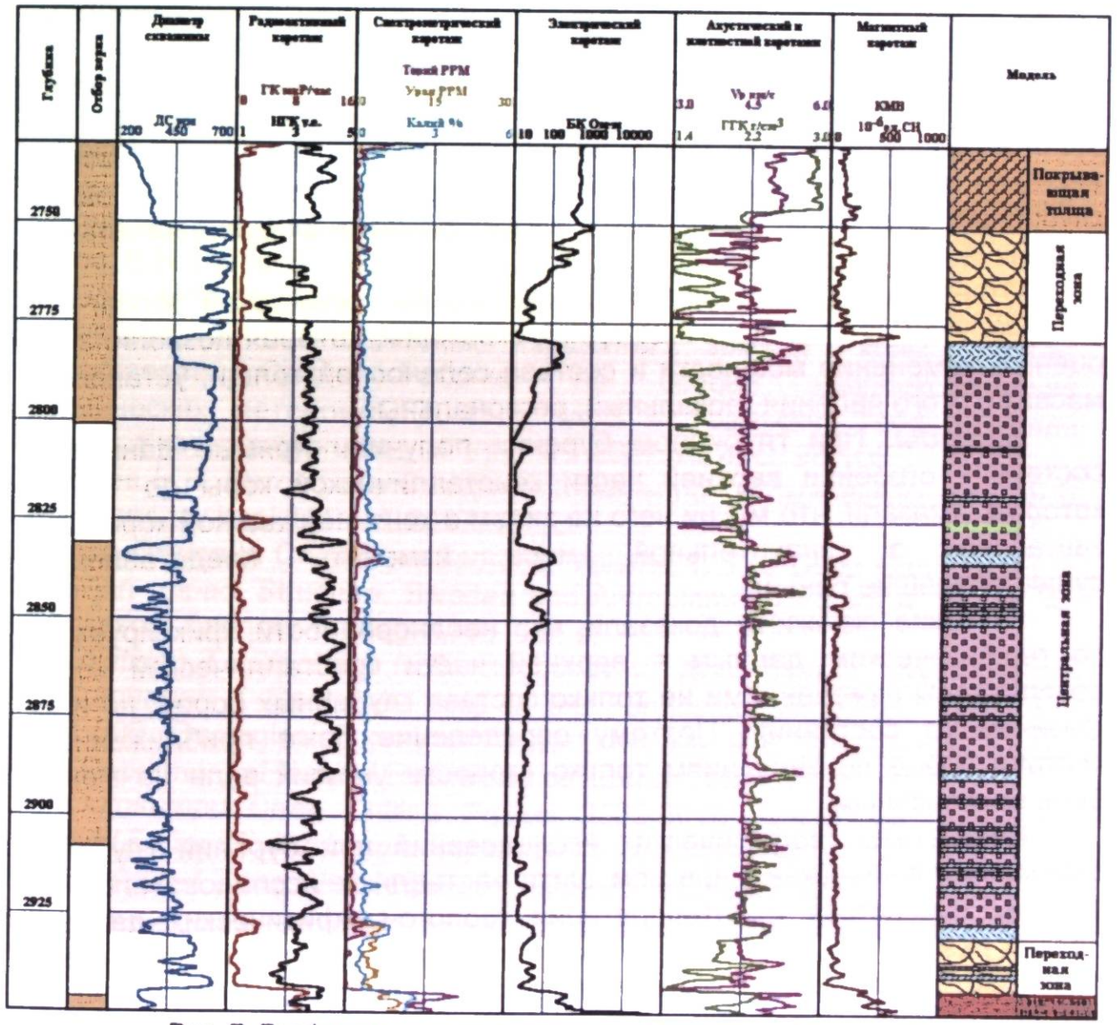


Рис. 7. Геофизическая характеристика соленосной толщи [2].

По данным ГИС с учетом исследований керна на рис. 7 показана лито-плотностная модель строения соленосной толщи. Соленосная толща представляет достаточно однородную толщу галитовых пород. В кровле и в подошве толщи имеются переходные зоны обусловленные влиянием процессов тектонического, метасоматического и гидродинамического характера проходивших на контакте соленосной толщи с подстилающими и покрывающими ее породами. В толще выделены интервалы повышенной плотности, представленные преимущественно жилами или обломками карбонатных, терригенных, сульфатных и магматических пород, плотность которых существенно выше плотности галита [2].

На формирование соленосной толщи, скорей всего, оказало влияние пространственное перераспределение (отток, латеральное течение, нагнетание) горных масс в условиях объемного тектонического течения на различных глубинных уровнях литосферы.

К этому могла привести площадная дифференциация по мощности и составу накапливавшихся вулканогенно-осадочных отложений, что вело к изменению вертикальной и горизонтальных составляющих векторов геостатического давления. В районе трассирования основных глубинных разломов, возможно, также возникали дополнительные тектонические напряжения.

Ответ на многие вопросы формирования соленосной толщи мог быть получен при бурении еще одной скважины, которая позволила бы оценить изменение мощности и состава соленосной толщи, установить масштаб этого явления (локальный, региональный).

Выводы. При глубинном бурении получили прямые данные о составе и строении верхней части кристаллической коры до 12 км, которые показали, что мы ни чего не знаем о континентальной коре. Они заставили в значительной мере изменить представления, существовавшие раньше.

Глубокие скважины доказали, что неоднородности, фиксируемые по геофизическим данным в верхней части кристаллической коры, обусловлены изменениями не только состава глубинных пород, но и их физического состояния. Поэтому определение даже приближенного состава пород по значениям только скорости упругих волн не может быть однозначным.

Результаты геофизических исследований при бурении глубоких скважин на Фенноскандинавском щите заставляют исследователей по другому относиться к интерпретации геолого-геофизических данных. Только результаты бурения глубоких скважин в кристаллической коре позволяют получить сведения о вещественном составе пород и петрофизических характеристиках, что способствует построению объективного геолого-геофизического разреза верхней части земной коры.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Глазнев В. Н., Сорохтин Н. О., Раевский А. Б., Козлов Н. Е.* Идентификация коровых тражений в зоне перехода от Балтийского щита к Баренцевоморской плите как основа прогнозирования полезных ископаемых // Вестник ВГУ. Серия: Геология, 2014, № 1. С. 95-102.
2. *Есипко О. А., Неронова И. В., Шаров Н. В.* Геофизические исследования Онежской параметрической скважины. ОАО «НПЦ «Недра», 2014. 62 с.
3. *Кольская сверхглубокая.* Исследование глубинного строения континентальной коры с помощью бурения Кольской сверхглубокой скважины / Отв. ред. Е.А. Козловский. М.: Недра, 1984. 490 с.
4. *Кольская сверхглубокая*. Научные результаты и опыт исследований / Отв. ред. В.П. Орлов, Н.П. Лаверов. М.: МФ «ТЕХНОНЕФТЕГАЗ», 1998. 260 с.
5. *Литвиненко И.В.* Сейсмический метод при изучении глубинно строения Балтийского щита // Зап. ЛГИ. 1963. Т. 46. Вып. 2. С. 3-13.
6. *Онежская палеопротерозойская* структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения) / Отв. ред. Л.В. Глушанин, Н.В. Шаров, В.В. Щипцов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. 431 с.
7. *Шаров Н.В., Исанина Э.В., Пожиленко В.И., Ступак В.М.* Повышение достоверности геологических моделей земной коры района полуостровов Средний-Рабачий на основе комплексирования сейсмических методов ОГТ, ГСЗ, МРС // Уральский геофизический вестник. Екатеринбург. Изд. ИГУр РАН. 2007. № 4. С. 98-105.
8. *Шаров Н.В.* Литосфера Северной Европы по сейсмическим данным // Петрозаводск КарНЦ РАН. 2017. 173 с.
9. *Deep Drilling* in Crystalline Bedrock. Volume 1: The Deep Gas Drilling in the Siljan mpact Structure, Sweden and Astroblemes / Edited A. Boden, K. G. Eriksson. Springer- Verlag. 1988. 364 p.
10. *Koistinen T., Stephens M.B., Bogachev V., Nordgulen O., Wennerström M., Korchonen J.* Geological map of the Fennoscandian Shield, scale 1 : 2 000 000. Geological Survey of Finland, Norway and Sweden and North-West Depatment of Natural Resources of Russia. 2001.
11. *Outokumpu* Deep Drilling Project 2003-2010. Geological Survey of Finland / Editer I T. *Kukkonen.* Espoo. 2011. Special Paper 51. 252 p.
12. *Stenberg-1* Deep Well. http://www.igrene.se/stenberg.pdf

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ
Выпуск тридцать третий (3), 2018 г.

УДК 539.3

О НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ ТЕОРИИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

М.Д. Коваленко[1,2], И.В. Меньшова[1,3], А.П. Кержаев[1]

[1]Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук (ИТПЗ РАН), г. Москва, Россия
[2]Институт прикладной механики Российской академии наук (ИПРИМ РАН), г. Москва, Россия
[3]Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана), г. Москва, Россия

На примере решения первой основной нечетно-симметричной краевой задачи теории упругости в полуполосе со свободными длинными сторонами обсуждаются некоторые физические явления, которыми сопровождается сброс остаточных напряжений. Решение представляется в виде рядов по собственным функциям Папковича-Фадля, коэффициенты которых находятся в явном виде при помощи функций, биортогональных к функциям Папковича-Фадля.
Ключевые слова: полуполоса, функции Папковича-Фадля, точные решения, остаточные напряжения

ABOUT SOME PHYSICAL ASPECTS OF THE THEORY OF THE RESIDUAL STRESSES

M.D.Kovalenko [1,2], I.V.Menshova [1,3], A.P.Kerzhaev [1]

[1] Institute theories of the forecast of earthquakes and mathematical geophysics Russian Academy of Sciences (ИТПЗ the Russian Academy of Sciences), Moscow, Russia
[2] Institute the applied mechanics of the Russian Academy of Sciences (ИПРИМ the Russian Academy of Sciences), Moscow, Russia
[3] The Moscow state technical university of a name N.E. Bauman (MGTU of N.E. Bauman), Moscow, Russia

On the example of the solution of the first fundamental odd-symmetric boundary-value problem of elasticity theory in a half-strip with free long sides, some physical phenomena that accompany the release of residual stresses are discussed. The solution is represented in the form of series in the Papkovich-Fadl eigenfunctions whose coefficients are explicitly expressed by means of functions biorthogonal to the Papkovich-Fadl functions.
Keywords: half-strip, Papkovich-Fadl functions, exact solutions, residual stresses

Введение

В статье в виде разложений по функциям Папковича-Фадля строятся решения краевых задачи теории упругости в полуполосе $\{\Pi^+ : x \geq 0, | y | \leq 1\}$ свободными продольными сторонами в нечетно-симметричной постановке. Являясь собственными функциями краевой задачи, функции Папковича-Фадля точно удовлетворяют нулевым граничным условиям на длинных сторонах полуполосы. Удовлетворяя граничным условиям на ее торце, приходим к проблеме разложения двух заданных здесь граничных функций в ряды по двум системам функций Папковича-Фадля. Функции Папковича-Фадля комплекснозначны и не образуют базиса на отрезке – торце полуполосы. Поэтому найти неизвестные коэффициенты разложений по ним, основываясь на классических представлениях теории базиса функций, невозможно. Их можно рассматривать, как пример представляющих систем экспонент с комплексными показателями и с вырожденной в отрезок областью аналитичности. Основываясь на преобразовании Бореля в классе квазицелых функций экспоненциального типа, к функциям Папковича-Фадля удается построить соответствующие биортогональные функции и затем найти явные выражения для коэффициентов искомых разложений. Основы теории можно найти в статьях [1-4].

Рассмотрены случаи, когда: а) на торце полуполосы заданы напряжения; б) на торце полуполосы заданы перемещения; в) торец полуполосы рассматривается, как линия разрыва продольных или поперечных перемещений. Дана физическая интерпретация полученных решений и показана их взаимосвязь.

Особое внимание уделяется физической стороне задачи.

Примеры краевых задач.

Рассмотрим полуполосу P^+ со свободными длинными сторонами $y = \pm 1$, у которой на торце заданы касательное и (или) нормальное напряжения. Пусть деформация полуполосы имеет нечетно-симметричный характер.

Приведем окончательные формулы для перемещений и напряжений в полуполосе [4] в виде рядов по функциям Папковича-Фадля $x(l, y)$, $c(l, y)$ и т.д., когда на торце полуполосы заданы только нормальные напряжения $s_x(0, y) = s(y)$, а касательные равны нулю:

$$U(x,y)=(C_2+2C_3x)y+\sum_{k=1}^{\infty}2\mathrm{Re}\left\{x_k\frac{\xi(\lambda_k,y)}{\lambda_k M_k}\lambda_k\overline{\lambda_k}\frac{\mathrm{Im}(-e^{\lambda_k x})}{\mathrm{Im}(\lambda_k)}\right\},$$

$$V(x,y)=-(C_1+C_2x+C_3x^2)+$$

$$+C_3[(2+\nu)-\nu y^2]+\sum_{k=1}^{\infty}2\mathrm{Re}\left\{x_k\frac{\chi(\lambda_k,y)}{M_k}\frac{\mathrm{Im}(-\overline{\lambda_k}e^{\lambda_k x})}{\mathrm{Im}(\lambda_k)}\right\},$$

$$\sigma_x(x,y)=4(1+\nu)C_3y+\sum_{k=1}^{\infty}2\mathrm{Re}\left\{x_k\frac{s_x(\lambda_k,y)}{M_k}\frac{\mathrm{Im}(-\overline{\lambda_k}e^{\lambda_k x})}{\mathrm{Im}(\lambda_k)}\right\},\qquad(1)$$

$$\sigma_y(x,y)=\sum_{k=1}^{\infty}2\mathrm{Re}\left\{x_k\frac{s_y(\lambda_k,y)\lambda_k\overline{\lambda_k}}{M_k\lambda_k^2}\frac{\mathrm{Im}(-\lambda_k e^{\lambda_k x})}{\mathrm{Im}(\lambda_k)}\right\},$$

$$\tau_{xy}(x,y)=\sum_{k=1}^{\infty}2\mathrm{Re}\left\{x_k\frac{t_{xy}(\lambda_k,y)}{\lambda_k M_k}\lambda_k\overline{\lambda_k}\frac{\mathrm{Im}(-e^{\lambda_k x})}{\mathrm{Im}(\lambda_k)}\right\}.$$

В том случае, когда на торце полуполосы заданы только касательные напряжения $t_{xy}(0,y)=t(y)$, а нормальные равны нулю, будем иметь:

$$U(x,y)=C_2+C_4[3yx^2+3\nu y-(2+\nu)y^3]+\sum_{k=1}^{\infty}2\mathrm{Re}\left\{t_k\frac{\xi(\lambda_k,y)}{\lambda_k M_k}\frac{\mathrm{Im}(\lambda_k e^{\lambda_k x})}{\mathrm{Im}(\lambda_k)}\right\}.$$

$$V(x,y)=-(C_1+C_2x+C_4x^3)+$$

$$+3C_4x[(2+\nu)-\nu y^2]+\sum_{k=1}^{\infty}2\mathrm{Re}\left\{t_k\frac{\chi(\lambda_k,y)}{M_k}\frac{\mathrm{Im}(e^{\lambda_k x})}{\mathrm{Im}(\lambda_k)}\right\}.$$

$$\sigma_x(x,y)=\sum_{k=1}^{\infty}2\mathrm{Re}\left\{t_k\frac{s_x(\lambda_k,y)}{M_k}\frac{\mathrm{Im}(e^{\lambda_k x})}{\mathrm{Im}(\lambda_k)}\right\},\qquad(2)$$

$$\sigma_y(x,y)=\sum_{k=1}^{\infty}2\mathrm{Re}\left\{t_k\frac{s_y(\lambda_k,y)}{\lambda_k^2 M_k}\frac{\mathrm{Im}(\lambda_k^2 e^{\lambda_k x})}{\mathrm{Im}(\lambda_k)}\right\}.$$

$$\tau_{xy}(x,y)=6C_4(1+\nu)(1-y^2)+\sum_{k=1}^{\infty}2\mathrm{Re}\left\{t_k\frac{t_{xy}(\lambda_k,y)}{\lambda_k M_k}\frac{\mathrm{Im}(\lambda_k e^{\lambda_k x})}{\mathrm{Im}(\lambda_k)}\right\}.$$

Здесь введены следующие обозначения: $U(x,y)=Gu(x,y)$, $V(x,y)=Gv(x,y)$, где $u(x,y)$ и $v(x,y)$ - перемещения вдоль осей x и y

соответственно, G – модуль сдвига, n - коэффициент Пуассона. Слагаемым, стоящим вне сумм, отвечает элементарное решение теории изгиба балки, причем, постоянным C_1 и C_2 соответствуют перемещения, как абсолютно жесткого тела. Собственные функции Папковича-Фадля имеют вид:

$$\xi(\lambda_k,y)=\left(\sin\lambda_k-\frac{1+\nu}{2}\lambda_k\cos\lambda_k\right)\sin\lambda_k y+\frac{1+\nu}{2}\lambda_k y\sin\lambda_k\cos\lambda_k y.$$

$$\chi(\lambda_k,y)=-\left(\frac{1-\nu}{2}\sin\lambda_k+\frac{1+\nu}{2}\lambda_k\cos\lambda_k\right)\cos\lambda_k y-\frac{1+\nu}{2}\lambda_k y\sin\lambda_k\sin\lambda_k y.$$

$$s_x(\lambda_k,y)=(1-\nu)\lambda_k\{(2\sin\lambda_k-\lambda_k\cos\lambda_k)\sin\lambda_k y+\lambda_k y\sin\lambda_k\cos\lambda_k y\}.\qquad(3)$$

$$s_y(\lambda_k,y)=(1-\nu)\lambda_k^2\{\cos\lambda_k\sin\lambda_k y-y\sin\lambda_k\cos\lambda_k y\}.$$

$$t_{xy}(\lambda_k,y)=(1+\nu)\lambda_k\{(\sin\lambda_k-\lambda_k\cos\lambda_k)\cos\lambda_k y-\lambda_k y\sin\lambda_k\sin\lambda_k y\}.$$

Числа $\{\pm l_k,\pm\overline{l_k}\}_{k=1}^{\Gamma}=\mathrm{L}$ - множество всех комплексных нулей целой функции экспоненциального типа

$L(l)=l-\sin l\cos l$. (4)

Числа x_k и t_k (коэффициенты Лагранжа) легко определяются, как интегралы Фурье от заданных граничных функций $s(y)$ и $t(y)$. Они зависят от того, как граничные функции продолжены вне отрезка $|y|\le 1$ на всю вещественную ось. Выбирая тот или иной способ продолжения, получим разные числа x_k и t_k и, следовательно, разные решения краевой задачи в полуполосе. Разность любых двух решений с разными x_k и t_k приводит к нетривиальному решению с нулевыми граничными условиями, что является следствием неединственности разложений Лагранжа. Поэтому с формально-математических позиций решения рассматриваемых краевых задач в полуполосе не единственны. Так как решения связаны с продолжениями заданных на торце полуполосы функций через концы отрезка на всю бесконечную прямую, то в них, тем самым, известны значения не только граничных функций, но и всех их производных. В этом смысле они не отличаются от точек гладкой части контура. Всегда можно выбрать такие продолжения, при которых, например, одно или оба перемещения, углы поворота угловых точек и т.д. будут равны нулю. Таким образом, разным продолжениям соответствуют физически разные задачи. Поэтому, отвечающие разным продолжениям решения, нельзя вычитать одно из другого.

Формулы (1)-(2) получены с помощью функций, биортогональных к функциям Папковича – Фадля (3). Учитывая, что биортогональные

функции единственны, заключаем, что решения рассматриваемых краевых задач в полуполосе единственны.

Моделью, поясняющей природу остаточных напряжений, обычно служит следующая. Рассмотрим некоторый прямоугольник P. Разрежем его на бесконечно малые (элементарные) прямоугольники, которые заменим деформированными прямоугольниками с искривленными сторонами. Придадим деформированным прямоугольникам первоначальный вид, приложив к ним соответствующие напряжения, после чего склеим их. В результате получим исходный прямоугольник P, в котором есть поле остаточных напряжений. Остаточные напряжения будут удовлетворять уравнениям равновесия, но условия совместности деформаций выполняться не будут, т.к. перемещения в каждой точке прямоугольника P (по построению) разрывны.

В полученных формулах (1)-(2) напряжения удовлетворяют уравнениям равновесия, но уравнениям совместности - нет. Поэтому напряжения в общем нельзя выразить через соответствующие перемещения, в соответствии с законом Гука:

$$\sigma_x(x,y)=\frac{2}{1-\nu}\left(\frac{\partial U(x,y)}{\partial x}+\nu\frac{\partial V(x,y)}{\partial y}\right),$$
$$\sigma_y(x,y)=\frac{2}{1-\nu}\left(\frac{\partial V(x,y)}{\partial y}+\nu\frac{\partial U(x,y)}{\partial x}\right), \qquad (5)$$
$$\tau_{xy}(x,y)=\left(\frac{\partial U(x,y)}{\partial y}+\frac{\partial V(x,y)}{\partial x}\right).$$

Известно, что однородная краевая задача с разрывами перемещений эквивалентна некоторой неоднородной задаче («теорема об эквивалентности силы-дислокации»). Соответствующие массовые нагрузки $Q_x(x,y)$ и $Q_y(x,y)$ можно найти, воспользовавшись уравнениями равновесия в перемещениях:

$$Q_x(x,y)=-\frac{2}{1-\nu}\frac{\partial^2 U(x,y)}{\partial x^2}-\frac{\partial^2 U(x,y)}{\partial y^2}-\frac{1+\nu}{1-\nu}\frac{\partial^2 V(x,y)}{\partial x\partial y},$$
$$Q_y(x,y)=-\frac{2}{1-\nu}\frac{\partial^2 V(x,y)}{\partial y^2}-\frac{\partial^2 V(x,y)}{\partial x^2}-\frac{1+\nu}{1-\nu}\frac{\partial^2 U(x,y)}{\partial x\partial y}. \qquad (6)$$

подставив в них выражения для $U(x,y),V(x,y)$. Если теперь в неоднородное бигармоническое уравнение

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)^2\left(\sigma_x(x,y)+\sigma_y(x,y)\right)=\frac{\partial Q_x(x,y)}{\partial x}+\frac{\partial Q_y(x,y)}{\partial y} \qquad (7)$$

подставить выражения (5) и вставить в них формулы (1) или (2) для перемещений, то получим тождество.

Физическая интерпретация эквивалентности состоит в том, что помимо описанной модели остаточных напряжений в прямоугольнике P, есть еще следующая. Приложим к каждому из деформированных прямоугольников соответствующие массовые нагрузки так, что они опять станут элементарными прямоугольниками, а затем вновь склеим их и снимем нагрузку. В результате в прямоугольнике P возникнет такое же поле остаточных напряжений, что и в первом случае.

Т.к. условия совместности деформаций не выполняются, то перемещения не определяются однозначно. Однако, если из физических соображений понятно, как создается поле остаточных напряжений, то перемещения находятся единственным образом. В этой связи приведем решения нескольких задач.

2.1. Симметричное продолжение решения в левую полуполосу.

Задача 1 (разрыв продольных перемещений). Пусть в полосе $\{P : |x| < \Gamma, |y| J\ 1\}$ имеется симметричное относительно оси y и нечетно-симметричное относительно оси x поле остаточных напряжений такое, что при $x=0$ напряжения $s_x(0,y)=s(y)$, а касательные равны нулю. Предположим, что вследствие поперечного разрыва продольных перемещений вдоль оси y:

$$U^+(0,y) - U^-(0,y) = 2u(y), \qquad (8)$$

напряжения сбрасываются. Здесь через $U^{\pm}(0,y)$ обозначены равные $u(y)$ перемещения соответственно справа и слева на разрыве.

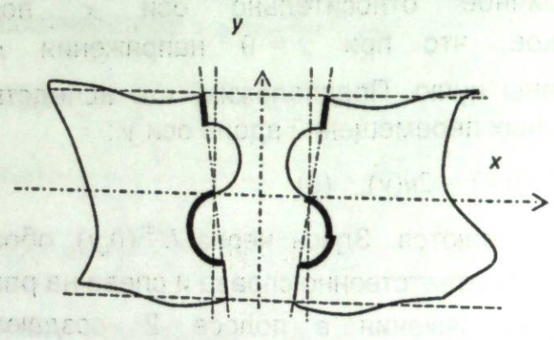
Остаточные напряжения в полосе P создаются следующим образом. Возьмем, являющиеся зеркальными отображениями друг друга, правую и левую полуполосы $\tilde{\Pi}^{\pm}$ с нечетно- симметрично искривленными относительно оси x продольными сторонами и торцами (схематично показаны на фиг.1). Прижмем их друг к другу по торцам, стягивая те участки контура торцов, где они не соприкасаются (на фиг.1 они выделены жирными линиями). В результате получим полосу P с остаточными напряжениями, определяемыми по формулам (1). Если полосу разрезать по оси симметрии, то остаточные напряжения сбрасываются. При этом возникают перемещения (1), а правая и левые полуполосы приобретают свой первоначальный вид полуполос $\tilde{\Pi}^{\pm}$ с искривленными продольными сторонами и торцами.

Неизвестную постоянную C_1 следует принять равной нулю, т.к. остаточные напряжения в бесконечной полосе создаются только за счет поворота точек криволинейных торцов полуполос $\tilde{\Pi}^{\pm}$ относительно начала координат. Постоянная $C_3 = 0$, т.к. нормальные напряжения самоуравновешены. Постоянной C_2 соответствует поворот полуполос

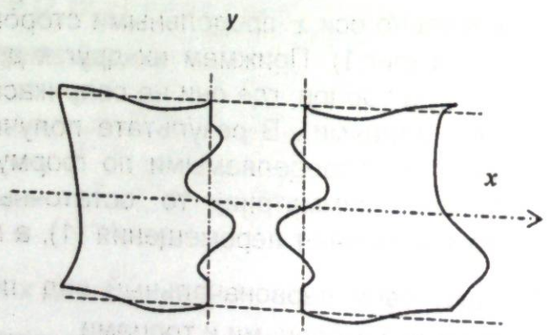
$\tilde{\Pi}^{\pm}$ как абсолютно жестких. Если функция $u\,y\,(\,)$ самоуравновешена по моменту, то в этом случае $C_2 = 0$. В противном случае, в результате разделения, полуполосы $\tilde{\Pi}^{\pm}$ повернутся в разные стороны относительно начала координат на угол $a = \operatorname{arctg} C_2$, где C_2 находится из условия

$$\int_{-1}^{1} [u(y) - C_2] y dy = 0. \qquad (9)$$

На фиг. 1 условно показаны профили торцов полуполос $\tilde{\Pi}^{\pm}$, описываемые не самоуравновешенной по моменту функцией $u(y)$, а на фиг.2 - профили торцов, когда $u(y)$ самоуравновешена по моменту.

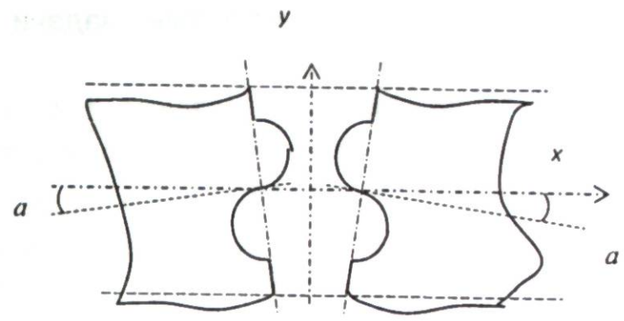


Фиг. 1

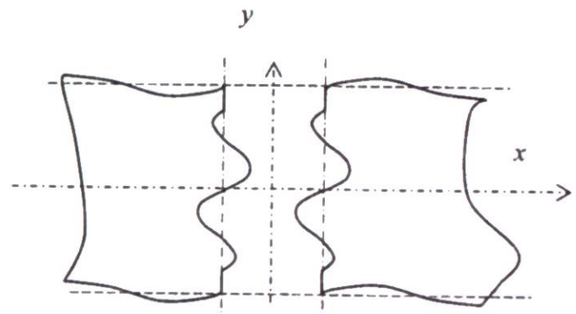


Фиг. 2

На фиг.3 показано положение полуполос $\tilde{\Pi}^{\pm}$ после разделения и профили их торцов, когда функция $u(y)$ не самоуравновешена.



Фиг. 3



Фиг. 4

2.2. Нечетно-симметричное продолжение решения в левую полуполосу.

Рассмотрим нечетно-симметричное продолжение решения из правой полуполосы $\tilde{\Pi}^{\pm}$ с нечетно-симметрично искривленными относительно оси x продольными сторонами и торцом в левую (фиг.4).

Приложим к полуполосам $\tilde{\Pi}^{\pm}$ массовые силы (6), полагая, что, входящие в эти формулы перемещения, определяются по формулам (2).

Получившиеся при этом полуполосы $\mathrm{P}^{\pm}$ склеим по торцам. Снимая массовую нагрузку, получим бесконечную полосу P, в которой имеется нечетно-симметричное относительно осей x и y поле остаточных напряжений такое, что $s_x(0,y) = 0$, а $t_{xy}(0,y) = t(y)$, где $t(y)$ - четная, самоуравновешенная функция. Если полосу P разрезать по оси y, то она распадется на две первоначальные полуполосы $\tilde{\Pi}^{\pm}$. Остаточные напряжения сбросятся, и при этом возникнут перемещения (2).

Постоянная $C_4 = 0$, т.к. касательные напряжения на стыке полуполос самоуравновешены. По симметрии задачи поперечные перемещения $V(0,y) = 0$ и, следовательно, $C_1 = 0$.

Пусть известна форма образовавшегося разрыва $U(0,y) = u(y)$. Если считать, что функция $u(y)$ самоуравновешена по моменту, то постоянная C_2 будет равна нулю. В том случае, когда функция $u(y)$ не самоуравновешена по моменту, разрыв будет сопровождаться поворотами полуполос относительно начала координат, как абсолютно жестких. Угол поворота определяется так же, как и в задаче 2: $a = \operatorname{arctg} C_2$. Только на этот раз обе полуполосы повернутся в одном направлении.

Задача 2 (разрыв поперечных перемещений). Пусть в полосе P имеется нечетно-симметричное относительно осей x и y поле остаточных напряжений такое, что при $x = 0$ касательные напряжения $t_{xy}(0,y) = t(y)$, а нормальные равны нулю. Предположим, что вследствие разрыва вдоль оси y:

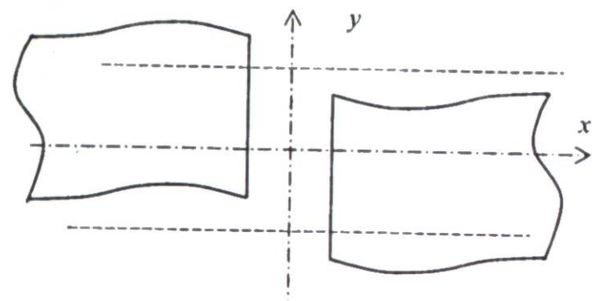
$$V^+(0,y) - V^-(0,y) = 2v(y), \quad (10)$$

напряжения сбрасываются. Через $V^{\pm}(0,y)$ обозначены равные $v(y)$ перемещения соответственно справа и слева на разрыве.

Решение описывается формулами (2), в которых постоянная C_1 отвечает взаимно противоположным жестким смещениям полуполос $\Pi^{\pm}$ вдоль оси y, возникающим в результате разрыва (фиг.5), и определяется из условия

$$\int_{-1}^{1} [v(y) - C_1] dy = 0. \quad (11)$$

Постоянная $C_4 = 0$, в силу самоуравновешенности касательных напряжений, а постоянная $C_2 = 0$, т.к. продольные перемещения $U(0,y) = 0$.



Фиг.5

Обсуждение результатов.

1. Рассмотрена нечетно-симметричная краевая задача для полуполосы со свободными длинными сторонами в следующих постановках:

a) на торце полуполосы заданы напряжения;

b) торец полуполосы рассматривается, как линия разрыва продольных или поперечных перемещений в бесконечной полосе.

2. С формально-математических позиций решение краевой задачи в полуполосе не единственно в том смысле, что разность двух любых решений приводит к нетривиальному решению с нулевыми граничными условиями. Математически она является следствием неединственности разложений Лагранжа [2]. Однако, каждому продолжению отвечает только одно решение краевой задачи, физически эквивалентное выбранному продолжению. Поэтому, с точки зрения механики, решения краевых задач в полуполосе единственны.

Остаточные напряжения могут быть не только в областях с угловыми точками границы, но и в областях с гладкой границей. Известен пример кольца, из которого двумя смежными поперечными сечениями вырезается небольшой участок, а затем концы кольца соединяются. При этом в кольце возникают остаточные напряжения. Задача рассматривается с позиций сопротивления материалов. Рассмотрим ее, как задачу теории упругости и будем считать, что радиус кольца стремится к бесконечности. Тогда получим бесконечную полосу с остаточными напряжениями. Таким образом, остаточные напряжения могут быть и в упругих областях с гладкой границей, но создаются они путем склеивания областей, имеющих угловые точки границы.

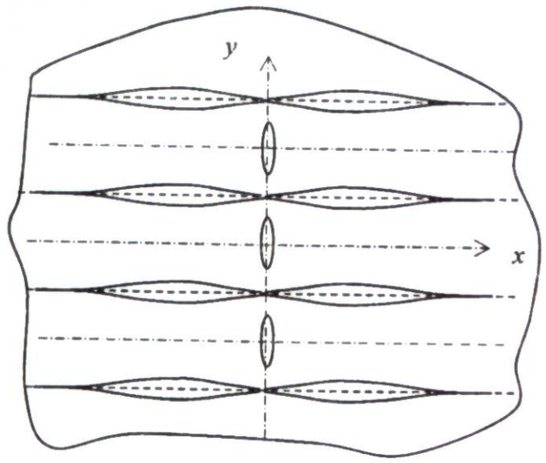
3. Из необходимости продолжения граничных функций, как вдоль торца, так и вдоль горизонтальных сторон полуполосы, следует, что в точных решениях краевых задач, полученных в работе, угловые точки полуполосы нужно рассматривать не как геометрические объекты, а как бесконечно малые элементы, подобные другим точкам области.

4. Важной особенностью решений, описывающих остаточные напряжения, является то, что граничные условия в них ставятся строго

на прямолинейных границах полуполосы. На примере четно-симметричной задачи для правой полуполосы со свободными длинными сторонами и заданными на ее торце нормальными напряжениями, напомним, как ставятся граничные условия в классическом случае. Бесконечную плоскость разделим на одинаковые, горизонтальные полосы. Вдоль границ полос проведем разрезы и сделаем в них одинаковые вкладки, симметричные относительно их осей и симметрично расположенные относительно вертикальной оси y (фиг. 6). Сделаем также вкладки вдоль вертикальной оси, полагая, что все они одинаковы и симметричны относительно горизонтальных осей полос и относительно оси y. Формы горизонтальных и вертикальных вкладок подобраны таким образом, что когда на оси y нормальные напряжения $s_x(0,y)$ в пределах каждой полосы равны заданным (касательные напряжения здесь равны нулю из условий симметрии), на осях горизонтальных вкладок касательные и нормальные напряжения будут равны нулю. Вкладки выполняются из того же материала, что и плоскость и неразрывно скрепляются с полосами. Создание вкладки подразумевает добавление недостающего материала или удаление лишнего (во избежание наползания сторон). Благодаря этому, в плоскости, замощенной бесконечными полосами, разрывов перемещений не будет и, следовательно, будут выполняться условия совместности деформаций. Однако, граничные условия на этот раз ставятся не на строго прямолинейных сторонах полуполос, а на осях вкладок, совпадающих с прямолинейными границами полуполос. Такое понимание задания граничных условий принадлежит Д.И. Шерману. Фактически оно является математически строгой формулировкой классического понимания: «граничные условия условно сносятся на недеформированные границы».

Таким образом, условия совместности деформаций в классической постановке краевых задач теории упругости выполняются только потому, что стороны области (в данном случае, стороны полуполосы) прямолинейные до деформации, остаются прямолинейными и после. Перемещения границ области в классических решениях, в отличии от решений, рассмотренных в этой работе, описывают не истинную деформацию ее сторон после приложения нагрузки, а формы вкладок.

5. Обычно отбрасываемые при решении краевых задач теории упругости для полуполосы постоянные C_1 и C_2, отвечающие их перемещениям, как абсолютно жестких, приобретают вполне определенный смысл в задаче о сбросе имеющихся в бесконечной полосе остаточных напряжений в результате ее разрыва по вертикальной оси симметрии. Описывают возникающие перемещения и вращения относительно начала координат правой и левой полуполос, как недеформируемых.



Фиг.6

Если продольные $u(y)$ и поперечные $v(y)$ перемещения точек торцов полуполос удовлетворяют условиям: $\int_{-1}^{1} u(y)ydy = 0$, $\int_{-1}^{1} v(y)dy = 0$, $\int_{-1}^{1} v(y)y^2dy = 0$ - перемещений полуполос, как абсолютно жестких, не будет.

6. Укажем, вытекающие из полученных результатов, несколько признаков, свидетельствующих о наличии остаточных напряжений в какой-либо конечной плоской области: 1) знакопеременность напряжений, являющаяся следствием их самоуравновешенности; 2) фрагменты области, образовавшиеся вследствие ее разделения и сброса остаточных напряжений, перемещаются и поворачиваются, как абсолютно жесткие; 3) их невозможно сложить вновь по поверхностям разрыва без зазоров.

Заключение.

Остаточные напряжения играют огромную роль в механике горных пород. Пример сильного влияния остаточных напряжений на анизотропию свойств горных пород можно найти в [5]: два абсолютно одинаковых блока горной породы, выпиленные из горного массива в непосредственной близости (т.е. имеющие одинаковые физико-механические характеристики), могут разрушаться при одной и той же нагрузке совершенно по-разному. Теоретических методов описания, объяснения и учета подобных явлений в практической деятельности не существует. На основе многолетних полевых и лабораторных исследований автор [6] приходит к выводу о том, что в горные удары и

землетрясения (рассматриваемые, как горные удары больших масштабов) обусловлены, скорее всего, сбросом остаточных напряжений. С остаточными напряжениями, по-видимому, связано явление зональной дезинтеграции, которому до сих пор не найдено удовлетворительного объяснения.

Нельзя сказать, что модели остаточных напряжений не предлагались вовсе. Примеры определенным образом подобранных ненулевых решений уравнений равновесия теории упругости с нулевыми граничными условиями были построены в статьях [7,8]. Различные физические модели остаточных напряжений были рассмотрены в книге [9]. Однако, математически строгой теории остаточных напряжений, насколько известно авторам, пока нет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коваленко М.Д., Шуляковская Т.Д. Разложения по функциям Фадля-Папковича в полосе. Основы теории // Известия. РАН. Механика твердого тела. 2011. № 5. С. 78 - 98.
2. Коваленко М.Д., Меньшова И.В., Шуляковская Т.Д. Разложения по функциям Фадля-Папковича. Примеры решений в полуполосе // Известия РАН. Механика твердого тела. 2013. № 5. С.136-158.
3. Kerzhaev, A.P., Kovalenko, M.D., Menshova, I.V.: Borel transform in the class W of quasi-entire functions. Complex Anal. Oper. Theory 12(3), 571-587 (2017).
4. Зверяев Е.М., Коваленко М.Д., Меньшова И.В., Кержаев А.П. О свойствах точных решений краевых задач теории упругости в полуполосе и их приложение к теории остаточных напряжений в горных породах// Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2018. № 56. 28 с.
5. Айтматов И.Т., Тажибаев К.Т., Казакбаева Г.О. Исследование остаточных напряжений в горных породах на основе поляризационно-оптического метода моделирования // Вестник КРСУ. Геомеханика, 2006, Т. 6, № 7, С. 13-18
6. Тажибаев К.Т. Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород.: в 2-х томах. - Бишкек. Алтын Принт, 2016. -352 с.,-357 с.
7. Гузев М.А., Ушаков А.А. Об одном классе решений однородных уравнений равновесия механики деформируемого твердого тела // Фундаментальные и прикладные вопросы механики. Научная конференция, посвященная 70-летию со дня рождения акад. В.П. Мясникова. Владивосток, 2006, Доклад.С.43-44
8. Макаров В.В. Деформационные предвестники геодинамических явлений массива // Вестник Дальневосточного государственного технического университета, 2009, №1(1), С.38 –47
9. Мороз А.И. Самонапряженное состояние горных пород// М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2004, 288 с.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ
Выпуск тридцать третий (3), 2018 г.

УДК 550.838

МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ С КОМПЛЕКСНЫМ СКВАЖИННЫМ ПРИБОРОМ МЭШ-42

Ю.Г. Астраханцев, Е.А. Баженова, Н.А. Белоглазова
Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Описана аппаратура, позволяющая одновременно производить измерения геоакустических сигналов в трех диапазонах частот, электромагнитного излучения горных пород на трех частотах и геомагнитного поля в скважинах. Приведены примеры использования данной аппаратуры в динамически активном и пассивном регионах.

Ключевые слова: геоакустическая эмиссия, электромагнитное излучение, напряженно-деформированное состояние горных пород

MONITORING OF THE GEOPHYSICAL FIELDS DYNAMICS WITH COMBINED DOWNHOLE TOOL МЭШ-42

Y. G. Astrakhantsev, E.A. Bazhenova, N.A. Beloglazova
Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg, Russia

The equipment allowing to simultaneously measure geoacoustic signals in three frequency ranges, electromagnetic radiation of rocks at three frequencies and geomagnetic field in wells is described. Examples of the use of this equipment in dynamically active and passive regions are given.

Keywords: geoacoustic emission, electromagnetic radiation, stress-strain state of rocks

Введение

К настоящему времени накоплен большой объем информации о динамике геофизических полей Земли и ее связи с изменением напряженно-деформированного состояния геологической среды. Наиболее актуальны такие исследования для районов с активной тектоно-вулканической деятельностью, для которых проблема оценки изменения напряженно-деформированного состояния массивов горных пород, прогноз и предупреждение удароопасности, оперативная оценка сейсмической опасности приобретают особую остроту [1].

В ходе регистрации динамики напряженно деформированного состояния геологической среды, особый интерес представляют измерения геоакустических и электромагнитных сигналов. Горные

породы и рудные тела при трещинообразовании излучают электромагнитные волны в широком диапазоне частот. Природа этого явления связана с перемещением дислокаций, несущих электрические заряды. Установлено, что процесс формирования электромагнитного излучения (ЭМИ) в горных породах отражает динамику зарождения и развития их структурного разрушения. По мере перехода разрушения с низшего энергетического уровня на более высокий, возрастают параметры ЭМИ (число импульсов, напряженность). Для получения информации о неоднородности, нарушенности, напряженном состоянии, а также развивающихся в массиве горных пород динамических процессах, используется их способность излучать акустические импульсы. При разрушении горных пород происходит развитие микро- и макротрещин, при этом возникает геоакустическая эмиссия (ГАЭ). По ГАЭ оценивают ударопрочность горных пород, контролируют состояние массива пород и процессы разрушения [2]. В акустически возбуждаемых горных породах в лабораторных и натурных условиях ЭМИ наблюдается на границах контактирующих минеральных зерен, включений, прожилков и других неоднородностей. Из многих экспериментальных работ на образцах горных пород [3,4] известно, что с возрастанием всестороннего давления число трещин уменьшается и повышается прочность пород. Из многообразия механизмов возбуждения ЭМИ наибольший интерес представляют те, которые одновременно являются источниками ГАЭ. Действительно, исследования акустических и электромагнитных полей по разрезам глубоких скважин показали, что максимальные уровни сигналов как одной, так и другой природы большей частью пространственно совпадают по глубине с интервалами повышенной трещиноватости пород [5]. Электромагнитное излучение связано с образованием новых поверхностей раздела в среде [6]. Примечательными свойствами таких поверхностей являются их неровность, шероховатость, фрактальность, выражающие неоднородность микро- и макроструктуры разнообразных тел – от монокристаллов до горных пород.

При определении напряженно-деформированного состояния геологической среды скважинные измерения нескольких геофизических полей дают намного больше информации по сравнению с поверхностными исследованиями, так как измерения непосредственно внутри массива горных пород прямо отражают динамику его состояния. Для решения вышеизложенных задач в лаборатории скважинной геофизики УрО РАН разработан комплексный прибор МЭШ-42 [7, 8, 9]. позволяющий одновременно измерять несколько геофизических полей (напряженность геомагнитного поля, ГАЭ и ЭМИ), что значительно расширило диапазон решаемых задач. Прибор можно использовать как для проведения каротажа, так и долговременных режимных измерений в скважине.

Устройство и принцип работы прибора

Функциональная схема прибора представлена на рис. 1. Аппаратура содержит три измерительных блока, позволяющих преобразовывать измеряемые параметры в сигналы постоянного тока.

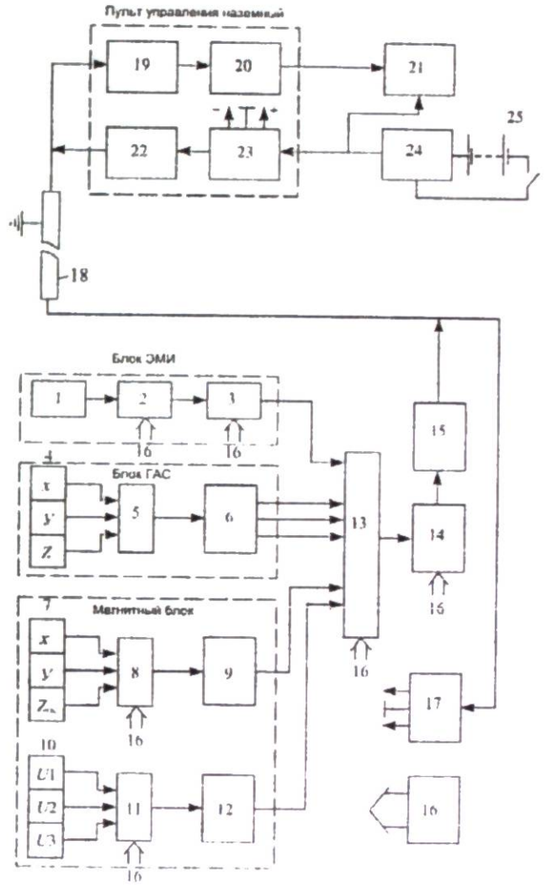


Рис. 1. Функциональная схема МЭШ-42: 1 – ферритовая антенна ЭМИ; 2 – коммутируемый блок конденсаторов; 3 – измерительная схема ЭМИ с выходом на постоянном токе; 4 – блок из трех датчиков ГАЭ; 5 – коммутатор; 6 – усилитель, блок фильтров и выпрямители; 7 – блок из трех ортогонально расположенных феррозондов; 8 – коммутатор сигналов феррозондов; 9 – измерительная схема магнитометра; 10 – блок акселерометров; 11 – коммутатор сигналов акселерометров; 12 – повторитель напряжения; 13 – общий коммутатор сигналов; 14 – аналого-цифровой преобразователь; 15 – блок передачи цифровой информации; 16 – блок управления скважинного прибора;17 – блок питания; 18 – одножильный каротажный кабель; 19 – входной усилитель; 20 – блок связи с персональным компьютером; 21 – персональный компьютер; 22 – блок питания скважинного прибора; 23 – блок питания наземного пульта; 24 – преобразователь напряжения; 25 – аккумулятор.

Эти сигналы через коммутатор (13) поочередно поступают на вход аналого-цифрового преобразователя и далее – на блок передачи цифровой информации. Схема содержит блок управления (16), осуществляющий своевременное включение соответствующих измерительных блоков, аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и блока передачи цифровой информации, который преобразует цифровую информацию с выхода АЦП в последовательные коды (RS-232), позволяющие передавать их по каротажному кабелю. По каротажному кабелю передается также и напряжение питания скважинного прибора, которое блоком питания стабилизируется и преобразуется в разнополярное. На поверхности сигналы с каротажного кабеля усиливаются, преобразуются в формат интерфейса RS-232 и подаются через специальный переходной узел на USB-порт персонального компьютера. При каротажных работах используется датчик глубины. Синхронизация сигналов осуществляется по паузе в передаче сигналов. При условии достаточно высокого качества АЦП, технические характеристики аппаратуры в основном зависят от технических характеристик измерительных блоков.

Блок измерения электромагнитного излучения (Блок ЭМИ) выполнен по схеме супергетеродинного приемника. Входной контур образуется из ферритовой антенны (1) и блока конденсаторов (2), поочередно подключаемых коммутатором к антенне. Принятые сигналы после усилителя поступают на преобразователь частоты, на второй вход которого подается напряжение с управляемого генератора. Частота генератора равна частоте настройки контура: 45, 80 и 120 кГц.

Блок измерения геоакустических сигналов (Блок ГАС) использует в качестве приемников три взаимоортогональных, жесткозакрепленных пьезокерамических преобразователя *Z*, *X*, *Y* (4), соотношением осевой чувствительности к поперечной более 90%. Через коммутатор (5) выходные сигналы преобразователей подаются на вход малошумящего с большим входным сопротивлением усилителя и, далее, на блок фильтров (6), который выделяет три полосы частот: 100–500, 500–5000 и 2500–5000 Гц, характеризующих источник динамики среды. В измерительном блоке предусмотрена проверка параметров усилителя, фильтров и АЦП путем подачи калибровочного сигнала от высокостабильного генератора, входящего в блок управления.

Магнитный измерительный блок содержит три взаимоортогональных жесткозакрепленных феррозонда Z_{oc}, *X*, *Y* (7), которые через коммутатор (8) поочередно подключаются к входу измерительной схемы магнитометра (9), работающей на второй гармонике. Соосно с феррозондами укреплены акселерометры *U*1, *U*2 и *U*3 (10), которые через коммутатор (11) поочередно подключаются к повторителю напряжения (12). Из шести параметров Z_{oc}, *X*, *Y*, *U*1, *U*2, *U*3 в точке измерения вычисляются значения составляющих вектора

геомагнитного поля в вертикальной системе координат, привязанной к плоскости наклона скважины *Z*, H_x, H_y, угла наклона скважины φ и угла поворота прибора вокруг своей оси α [10].

Основные технические характеристики МЭШ-42

Магнитный канал:

– диапазон измерений составляющих поля	$\pm 70 \cdot 10^3$ нТл;
– разрешающая способность	±2.5 нТл;

Геоакустический канал:

– диапазон измерений	0.01–10 мм/с^2;
– разрешающая способность	0.05 мм/с^2;

Электромагнитный канал:

– диапазон измерений	0.01–50 пТл;
– разрешающая способность	0.05 пТл;
Период измерения всех параметров	1.6 с.

Методика измерений

Методические приемы измерений и обработки полученных данных отрабатывались при исследованиях скважин на геодинамических полигонах Камчатки и Урала (от Полярного до Южного).

Программный модуль, разработанный в Институте геофизики УрО РАН, позволят одновременно фиксировать следующие сигналы, поступающие со скважинного прибора:

1. ГАЭ с трех взаимоортогональных датчиков (*X*, *Y*, *Z*) в трех частотных диапазонах:

100–500 Гц	*X*1, *Y*1, *Z*1,
500–5000 Гц	*X*2, *Y*2, *Z*2,
2500–5000 Гц	*X*4, *Y*4, *Z*4;

2. ЭМИ на трех частотах

45 кГц	*F*1,
80 кГц	*F*2,
120 кГц	*F*3.

3. Магнитометрия Z, H

Геоакустические сигналы, измеряемые горизонтальными датчиками, программным способом преобразуются в горизонтальные составляющие геоакустических сигналов H, для каждого диапазона частот: *H*1, *H*2, *H*4. Результаты каротажа представляются в виде диаграмм измеренных и расчетных параметров геоакустических сигналов. Результаты долговременных измерений в виде временных диаграмм измеренных и расчетных параметров. Интерпретация результатов комплексных исследований естественного электромагнитного излучения и геоакустических сигналов основана на анализе величин измеренных и расчетных параметров.

Наибольший объем информации о геодинамическом состоянии района, взаимосвязи временных изменений сигналов ГАЭ, ЭМИ и

напряженности геомагнитного поля можно получить на основе долговременной записи. Для выбора глубины установки прибора для проведения режимных наблюдений проводятся исследования по стволу скважины с этим же прибором. На основе полученных каротажных диаграмм и уже имеющейся геологической и геофизической информации выбираются точки установки прибора. Наиболее интересными для режимных наблюдений можно считать точки, где при каротаже отмечались аномальные значения одного или нескольких измеряемых геофизических полей.

Примеры исследований с аппаратурой МЭШ-42

Измерения с прибором МЭШ-42 проведены в районе с активной динамической обстановкой на Камчатском геодинамическом полигоне. В сентябре 2009 г. были выполнены измерения в экспериментальной скважине «Р-1». Прибор устанавливался на глубине 790 м без прижима к стенке скважины. Измерялись следующие параметры: вертикальная (*Z*) составляющая напряженности геомагнитного поля, азимут горизонтальной составляющей (*A*), угол поворота корпуса скважинного прибора, ЭМИ на 3-х, вертикальная и горизонтальная составляющие ГАЭ в 3-х частотных диапазонах. Установившийся режим (по углу поворота корпуса скважинного прибора) с 13^{00} ч (GMT) 10 сентября – 304°40′. Местное время на момент записи GMT+11 ч.

11 сентября в 4^{45} ч произошел поворот корпуса скважинного прибора (угол α) с 305 до 295° и обратный поворот в 7^{20} ч до 301° (рис. 2).

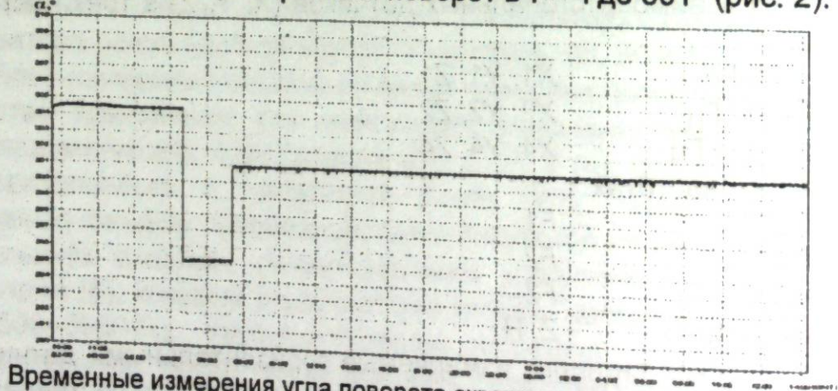


Рис. 2. Временные измерения угла поворота скважинного прибора (α) в скважине «Р-1»10–12 сентября 2009 г.

На рис. 3 представлено поведение кривых в момент поворота скважинного прибора, которое фиксируется изменением уровня записи горизонтального акселерометра (*U*2). В этот же момент отмечаются локальные всплески акустических сигналов на всех частотах, а затем начинается бухтообразное изменение суточного хода высокочастотных компонент ГАЭ (*Z*2, *Z*4), а уровень низкочастотной компоненты (*Z*1) остается неизменным. С запозданием около полутора часов с момента поворота прибора фиксируется увеличение амплитуды колебаний

электромагнитной эмиссии на частоте 80 кГц, изменение высокочастотной компоненты ЭМИ (*F*3) практически незаметно. Поворот скважинного прибора, возможно, был вызван изменением уровня воды в скважине, что явилось откликом на изменение геодинамической обстановки в районе, что, в свою очередь, подтверждается аномалиями ГАЭ и ЭМИ. В последующие несколько суток записи значения импульсов ЭМИ и составляющих ГАЭ низкочастотного диапазона (*H*1, *Z*1) относительно стабильны.

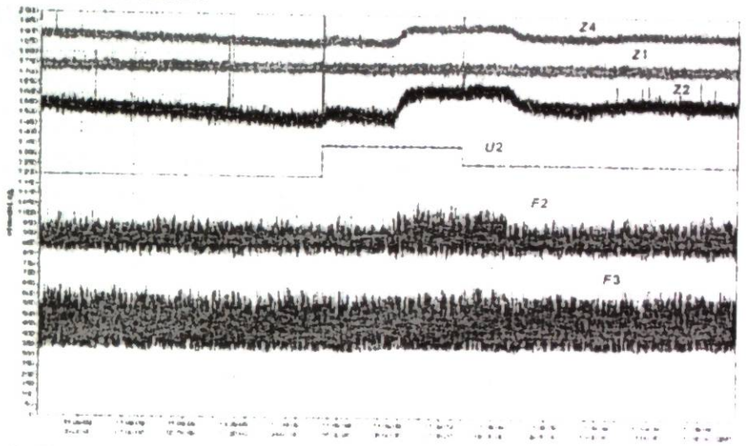


Рис. 3. Поведение кривых ГАЭ и ЭМИ в момент поворота прибора.

Повторные измерения в этой же скважине были выполнены в 2010 г. с 12^{00} ч (GMT) 24 по 24^{00} ч (GMT) 28 сентября. В сентябре этого года в районе Камчатского полуострова произошло несколько сейсмических событий: 23.09 в 12^{08} ч (GMT) на глубине 169 км; 25.09 в 23^{53} ч (GMT) на глубине 81 км; 27.09 в 6^{58} ч (GMT) на глубине 41 км и 29.09 в 6^{47} ч (GMT) на глубине 59 км. При регистрации электромагнитного излучения на частоте 45 кГц (*F*1) никаких изменений не наблюдается (рис. 4).

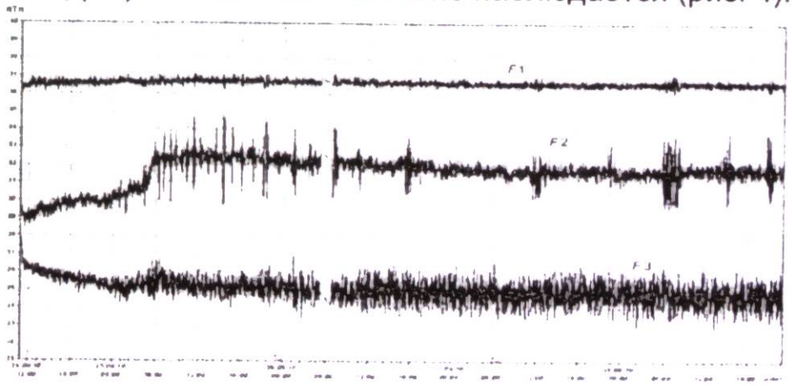


Рис. 4. Временные измерения электромагнитной эмиссии в экспериментальной скважине «Р-1» 24–28 сентября 2010 г.
(▽ – сейсмическое событие)

Для электромагнитного излучения на частоте 120 кГц (*F*3) в период начала наблюдений до 3^{00} ч (GMT) 25.09 отмечается уменьшение среднего уровня записи. Небольшое увеличение уровня записи наблюдается 6^{00} ч (GMT) 25.09. В последующем уровень среднего фона остается практически постоянным, но увеличиваются амплитуда колебания. В это же время происходит увеличение среднего уровня записи электромагнитного излучения на частоте 80 кГц (*F*2) и, далее, до конца регистрации этот уровень постепенно уменьшается, но наблюдается появление импульсов разной амплитуды и длительности. Наибольшая частота появления кратковременных всплесков отмечается перед сейсмическими событиями 25 и 27 сентября. Пачки импульсов с большой амплитудой и длительностью зафиксированы с 6^{00} до 24^{00} ч (GMT) 28.09. Изменение среднего уровня записи электромагнитного излучения *F*2 и *F*3 в период 24–25 сентября, возможно, связано с откликом на сейсмическое события 23 сентября, прошедшего в непосредственной близости к пункту наблюдения. Аналогичные явления отмечались и ранее при регистрации электромагнитного излучения в различных частотных диапазонах на Камчатке и других регионах [11, 12], а также при технологических взрывах и горных ударах [13] Временная диаграмма вертикальной составляющей геомагнитного поля (рис. 5) хорошо коррелируется с сигналами ЭМИ на частоте 80 кГц (*F*2).



Рис. 5. Временные измерения вертикальной составляющей (*Z*) геомагнитного поля в скважине «Р-1» 24–28 сентября 2010 г.
(∇ – сейсмическое событие)

В тот же момент, когда резко повышается уровень кривой *F*2 (с 04 до 05 ч 25 сентября), на диаграмме *Z*, напротив, наблюдается резкое снижение уровня сигнала. Последующим затем сейсмическим событиям 25 и 27 сентября предшествуют интервалы покоя на диаграмме *Z* и короткопериодных пульсаций – на диаграмме *F*2 (см. рис 4). Пульсации сигналов *F*2 с большими периодами, которые наблюдаются в 7^{00} и 18^{00} ч (GMT) 26 сентября; в 12^{00} и 23^{00} ч (GMT) 27 сентября; в 6^{00}, 14^{00} и 21^{00} ч (GMT) 28 сентября, хорошо коррелируются с вариациями геомагнитного поля. На рисунке 6 приведены результаты режимных наблюдений в динамически спокойном регионе С. Урала. Наблюдения проводились дважды в 2012 и 2013 гг. в течение 15-14 суток в экспериментальной скважине в п. В. Сысерть. Прибор устанавливался на глубине 170 м без прижима к стенке скважины. В 2012 г. все измеренные параметры

близки к фоновым значениям, каких либо значительных аномалий не наблюдается. На диаграммах 2013 г наблюдается небольшое изменение уровня сигналов ГАЭ, на фоне которого выделяются локальные аномалии продолжительностью до 2-х суток: по вертикальным составляющим *Z*1-*Z*4 с самого начала записи в течение 7-ми дней, а затем, начиная со второй недели измерений по горизонтальным составляющим (*H*1 и *H*2). На диаграмме *H*4 наблюдается снижение общего фона относительно 2012 года, Понижение среднего уровня записи сигналов ЭМИ на всех частотах наблюдается в 2013 г., что скорее всего, вызвано произошедшей разгрузкой напряжений, присутствующих в горных породах в 2012 г. 17 июня 2013 г. в 12^{00} часов по местному времени на всех диаграммах ГАЭ и ЭМИ наблюдается кратковременный всплеск, вызванный резким изменением геодинамической ситуации в скважине.

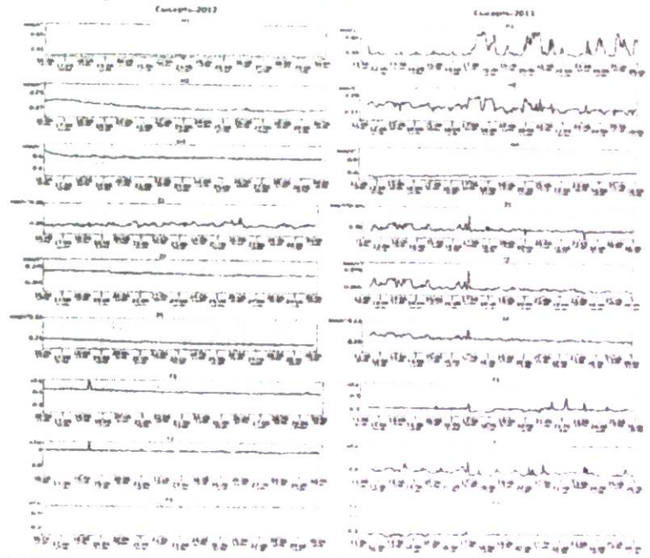


Рис.6. Записи сигналов ГАЭ и ЭМИ в скважине (В. Сысерть).

Выводы

Таким образом, при изучении геодинамического состояния горных пород в скважинах, комплексирование методов измерения магнитных, электромагнитных и акустических параметров позволяет получать информацию о деформационных процессах, происходящих в районе исследования. Анализ данных, полученных при режимных наблюдениях с комплексным прибором МЭШ-42, позволяет выделить наиболее информативные параметры для мониторинга напряженно-деформированного состояния горных пород применительно к местности исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гордеев Е.И., Салтыков В.А., Серафимов Ю.К.* Предвестники Камчатских землетрясений (по материалам Камчатского отделения

Федерального центра прогнозирований землетрясений, 1998–2004 гг.) // Вулканология и сейсмология. 2006. № 4. С. 3–13.
2. *Астраханцев Ю.Г., Белоглазова Н.А., Баженова Е.А., Вдовин А.Г., Троянов А.К.* Аппаратурно-программный комплекс для скважинных исследований напряженно-деформированного состояния среды // НТБ Каротажник. № 5 (239). 2014. С. 39–51.
3. *Корнейчиков В.П.* Электрическое излучение в процессе деформирования и разрушения горных пород // ВИНИТИ. 1986. с. 137-145.
4. *Яковицкая Г.Е.* О некоторых особенностях структуры сигналов электромагнитного излучения при разрушении горных пород // ФТПРПИ 2004. № 3. С. 20–28.
5. *Троянов А.К., Дьяконов Б.П., Мартышко П.С., Астраханцев Ю.Г., Начапкин Н.И., Гаврилов В.А., Белоглазова Н.А.* Сейсмоакустическая эмиссия и электромагнитное излучение трещиноватых пород в скважинах // ДАН. 2011. Т. 436. № 1. С. 118–120.
6. *Дьяконов Б.П., Мартышко П.С., Троянов А.К., Астраханцев Ю.Г., Начапкин Н.И.* Выделение периодичностей низкочастотных деформационных процессов в вариациях электромагнитного излучения в Уральской сверхглубокой скважине // ДАН.2010.Т.430. № 1. С. 105–107.
7. Пат. 2123711 (РФ). Устройство для измерения геоакустических шумов в скважине / Ю.Г. Астраханцев, А.К. Троянов, 1998.
8. Пат. 2173778 (РФ). Способ обнаружения зон трещиноватости пород в скважинах / Ю.Г. Астраханцев, А.К. Троянов, 1999.
9. Пат. 2445653 (РФ). Устройство для проведения геоакустического каротажа / Ю.Г. Астраханцев, А.К. Троянов, 2012.
10. *Астраханцев Ю.Г., Белоглазова Н.А.* Комплексная магнитометрическая аппаратура для исследования сверхглубоких и разведочных скважин. Екатеринбург: УрО РАН, 2012. 120 с.
11. *Гохберг М.Б., Моргунов В.А., Герасимович Е.А., Матвеев И.В.* Оперативные электромагнитные предвестники землетрясений. М. Наука, 1985. 116 с.
12. *Гаврилов В.А., Богомолов Л.М.* К вопросу о влиянии электромагнитных полей естественного происхождения на уровень геоакустической эмиссии // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России: Тр. рег. научно-техн. конф. Т. 1. Петропавловск-Камчатский, 2008. С. 59–63.
13. *Беспалько А.А., Яворович Л.В.* Физическое моделирование механоэлектрических преобразований в образцах горных пород // Электромагнитная эмиссия геосфер: Межд. научная конф. Становление и развитие научных исследований в высшей школе, посвященная 100-летию со дня рождения проф. А.А. Воробьёва. Томск, 2009. С. 306–313.

УДК 622.83

МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОРОДНОМ МАССИВЕ ДОНСКИХ ХРОМИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ: УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ БЛОЧНОСТИ

А.Е. Балек, А.А. Панжин
Институт горного дела Уро РАН

Представлены результаты натурных исследований деформационных процессов, происходящих в массиве горных пород при подземной разработке хромитовых месторождений Донского ГОКа (г. Хромтау, Казахстан). Показано ключевое влияние иерархической блочности породного массива на формирование его напряженно - деформированного состояния. Усовершенствована методика поэтапного построения геомеханической модели системы «объект недропользования - вмещающий породный массив».

Ключевые слова: массив горных пород, современные геодинамические движения, напряженно - деформированное состояние, структурное строение, иерархическая блочность, натурные исследования.

MONITORING OF DEFORMATION PROCESSES IN ROCK MASS OF DONSKOY CHROMITE DEPOSITS: ACCOUNTING FOR THE INFLUENCE OF BLOCKINESS

A. E. Balek, A. A. Panzhin
Institute of Mining of Ural Branch of Russian Academy of Sciences

The paper presents the results of field observations of modern geodynamic movements of rock mass during underground mining of chromite deposits of Donskoy Mining Processing Plant (Hromtau, Kazakhstan). There is shown the key influence of hierarchical block structural framework in the formation of stress-strain state of the rock mass. The methodology of a staged modeling of geomechanical system state “object of subsurface management – inclosing rock mass” have been improved.

Keywords: rock mass, modern geodynamic movements, stress-strain state, structural framework, hierarchical blockiness, field observations.

Основная часть Донских хромитовых месторождений Донского ГОКа (г. Хромтау, Казахстан) в настоящее время разрабатывается шахтой «Десятилетие независимости Казахстана». Геологические условия отличает чрезвычайно низкая устойчивость массива серпентинизированных горных пород, обусловленная разбитостью многочисленными хаотичными трещинами и разноориентированными тектоническими нарушениями на структурные блоки различных масштабно иерархических уровней. Связи между блоками слабы, а при увлажнении, когда тальковидный милонитовый или серпофитовый заполнитель трещин становится мыльным на ощупь, падают практически до нуля. Кроме того на обнажениях серпентинизированные породы склонны к ускоренному выветриванию, вплоть до мелкоблочного состояния.

Принято считать, что в такого рода породных массивах горное давление, действующее на крепь подземных выработок и вмещающий породный массив, определяется исключительно собственным весом налегающей породной толщи. В массиве формируется так называемое гидростатическое напряженно - деформированное состояние (НДС), при котором горизонтальные напряжения создаются за счет бокового распора от постоянной вертикальной нагрузки, обусловленной собственным весом пород. В соответствии с такими представлениями на шахте «Десятилетия независимости Казахстана» максимальные напряжения нетронутого породного массива, как вертикальные, так и горизонтальные, для максимальной глубины 1290 м не должны были превышать 33 МПа.

Между тем многолетние натурные исследования ИГД УрО РАН на шахтах ДонГОКа показали несоответствие поля напряжений горного массива стационарному гидростатическому, что было экспериментально зафиксировано комплексом методов на следующих масштабных уровнях:

1) В масштабах подземных выработок на базах деформирования от дециметров до первых десятков метров:

- по эллиптичности сечения вертикальных шахтных стволов, зафиксированной по результатам замеров упругих смещений незакрепленных призабойных породных стенок в процессе проходки стволов [1];

- по эллиптичности эпюр распределения напряжений, полученных по результатам замеров напряжений в бетонной крепи шахтных стволов на различных глубинах [2];

- по наличию на глубинах более 700 м «технологической» эллиптичности тюбинговых колец, возникающей в процессе монтажа тюбинговой крепи при проходке стволов [2].

2) В масштабах месторождений и шахтных полей на базах деформирования от нескольких десятков метров до первых километров:

- по расчетной анизотропии напряженного состояния нетронутого горного массива, полученной при решении обратной геомеханической задачи при моделировании процессов очистной выемки руды и формирования зон обрушения над выработанными пространствами с использованием результатов натурных замеров деформаций реперных линий на земной поверхности и в подземных выработках [2];

- по расчетной анизотропии напряженного состояния нетронутого массива, полученной при моделировании подвижек крупномасштабных структурных блоков, параметры которой совпали с результатами натурных замеров смещений реперных пунктов на земной поверхности шахты [3];

- по совпадению расчетных параметров анизотропии НДС с условиями формирования преобладающей направленности элементов до- и пострудной тектоники, выявленной в горном массиве методами геолого-морфологического анализа, а также с зафиксированными аномалиями в формировании зон обрушения [3].

Таким образом, вследствие комплекса вышеперечисленных факторов, на шахте «Десятилетие независимости Казахстана» на глубине 1290 м максимальные напряжения нетронутого массива составили не 33, а 47 МПа, т.е. в 1,4 больше.

Вследствие высоких тектонических напряжений в низкопрочном иерархически блочном массиве скальных горных пород неизбежно происходит переход приконтурного массива горных выработок «запредельное» НДС, характеризуемое взаимными подвижками структурных породных блоков, которые, при определенных условиях, формируют на крепь горных выработок сосредоточенные нагрузки.

Исследования ИГД УрО РАН показали, что в серпентинитовых породах на базах деформирования от дециметров до первых десятков метров переход в «запредельное» НДС происходит при достижении глубин 500 - 600 м, когда концентрация напряжений на забоях стволов и крупных камерных выработок достигает пределов прочности массива. Положение усугубляется склонностью пород ДОН ГОКа к увеличению объема при взаимодействии с щелочной шахтной водой и воздухом, что особенно заметно проявляется при проходке стволов по зонам тектонических нарушений.

Данное заключение получено на основании следующего комплекса натурных данных [1, 2, 4]:

1) По результатам замеров напряжений методом щелевой разгрузки в бетонной крепи шахтных стволов было выявлено, что на глубине 500 - 600 м при неизменных геологических условиях и толщине крепи происходит резкое (в 5 – 6 раз) увеличение максимальных напряжений.

2) По результатам замеров приростов деформаций крепи и приконтурного массива в процессе проходки стволов было установлено,

что скачкообразно быстрое увеличение напряжений крепи является следствием столь же быстрого увеличения зоны сдерживающего влияния забоя: с 1,5 - 2 диаметров ствола, что характерно для условий упругого деформирования ненарушенного горного массива, до 3 - 4 диаметров, что указывало на условия пластического деформирования нарушенного массива в условиях запредельного напряженного состояния. Соответственно, в 2 - 3 раза возрастала зона влияния забоя, определяемая протяженностью зоны неупругих деформаций горного массива вокруг сооружаемой выработки. А это негативно сказывалось на устойчивости прилегающих выработок, ранее пройденных и закрепленных.

3) По данным оптического буроскопического зондирования пород вокруг стволов и горизонтальных выработок установлено, что увеличение зоны влияния явилось следствием нарушения сплошности и последующего запредельного деформирования массива, проявляющегося в сдвиговых и ротационных смещениях структурных породных блоков размерами от нескольких сантиметров до 1,5 - 2 м на величину 1 - 1,5 см и более. Эти смещения оказывали концентрированные пригрузки на крепь горных выработок.

По результатам натурных исследований ИГД УрО РАН было также выявлено, что на более крупных масштабных уровнях переход в запредельное НДС происходит даже в условиях нетронутого массива вследствие снижения прочности породного массива, неизбежного при увеличении баз деформирования. Многолетние замеры смещений реперных пунктов на поверхности шахтного поля методами спутниковой геодезии GPS/GLONASS показали, что на базах деформирования от нескольких десятков метров до первых километров при различных временных интервалах повсеместно фиксируется современная геодинамическая активность.

На рисунках 1 и 2 представлены тектонические нарушения, выявленные геолого - морфологическими методами на поверхности поля шахты «Десятилетия независимости Казахстана», и смещения реперных пунктов относительно условно неподвижного пункта № 2017 за период 1985 - 2016 гг: вектора горизонтальных (рис. 1) и изолинии вертикальных смещений (рис. 2).

Для построения модели механического поведения породного массива на различных базах выполнен сопоставительный анализ полученных результатов по схеме «каждый пункт сопоставляется с каждым». Результаты анализа представлены на рисунках 3 и 4 в форме точечных диаграмм, связывающих расстояния между парами реперов с абсолютными значениями замеренных смещений и относительными деформациями реперных интервалов. Для сравнения там же представлены данные аналогичных натурных замеров, полученные на близлежащих месторождениях Южного Урала: Киембаевском

хризотиласбестовом и Качарском железорудном месторождениях, расположенных к северо-востоку от Хромтау в 120 и 440 км, соответственно.

Диаграммы показывают, что при временных интервалах порядка 15 - 40 лет на деформационных базах более 2 км породный массив ДОН ГОКа ведет себя как сплошная квазиупругая среда. Это поведение характеризуется постоянным, не зависящим от расстояния между реперами, значением относительной деформации (для массива Хромтау в среднем составляющим 0,04 мм/м) и, соответственно, непрерывным и близким к линейному возрастанием абсолютных значений смещений реперов. При возрастании расстояний между реперами до 6 – 8 км эти смещения достигают 0,4 – 0,5 м.

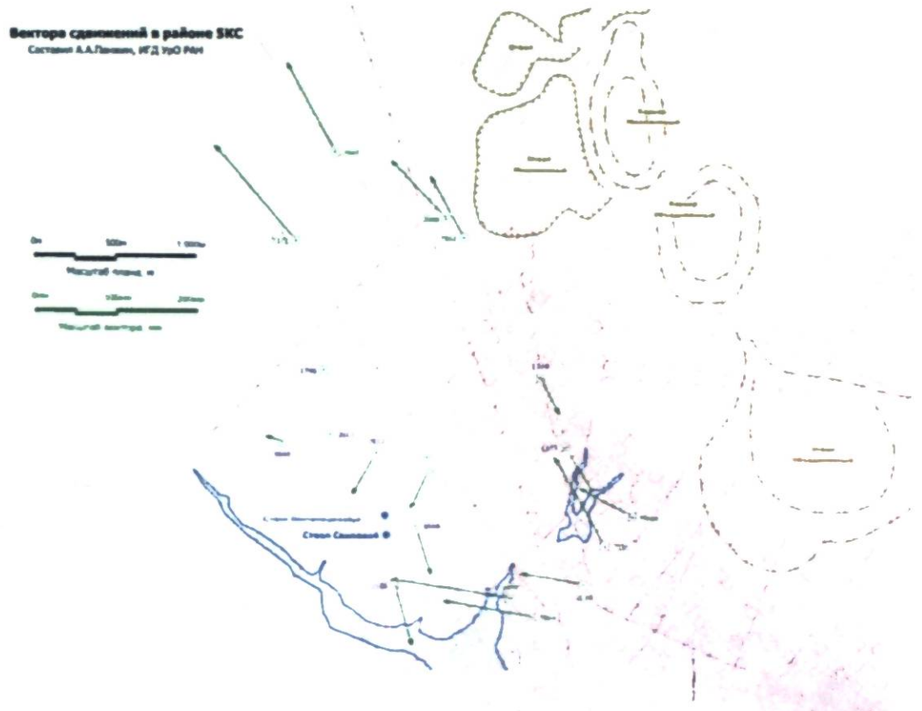


Рис.1 – Вектора горизонтальных смещений реперных пунктов на поверхности поля шахты «Десятилетия независимости Казахстана» относительно условно неподвижного пункта № 2017 за период 1985 - 2016 гг

Полученный результат качественно совпадает с данными аналогичных натурных замеров на Киембаевском и Качарском месторождениях. Однако на тех месторождениях зафиксирована более слабая геодинамическая активность. Средние относительные деформации на Киембае составляют 0,03 мм/м, а на Качаре – 0,02 мм/м, что в 2 раза меньше, чем в Хромтау.

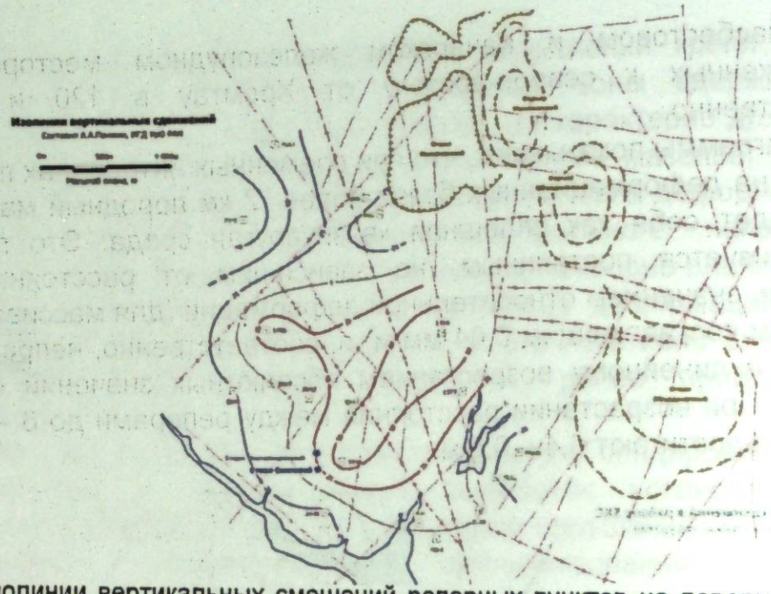


Рис.2 – Изолинии вертикальных смещений реперных пунктов на поверхности поля шахты относительно условно неподвижного пункта 2017 за период 1985 - 2016 гг (в миллиметрах: положительные - поднятия, отрицательные - оседания)

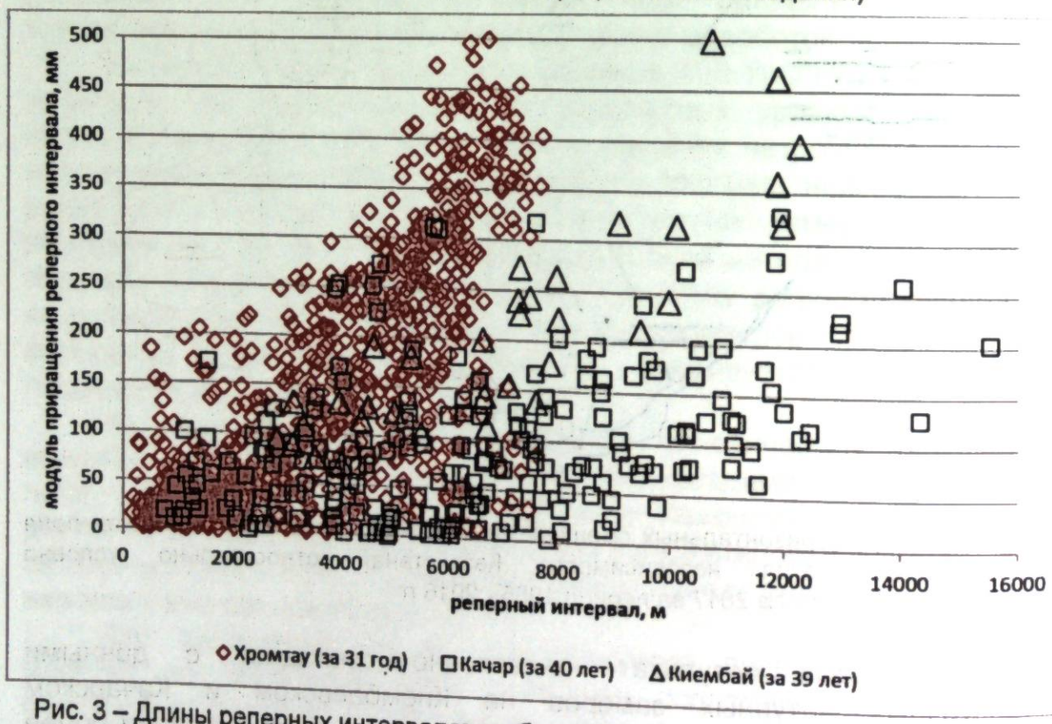


Рис. 3 – Длины реперных интервалов и абсолютные значения смещений реперных пунктов, замеренных на месторождениях ДОН ГОКа, Качарском и Киембаевском

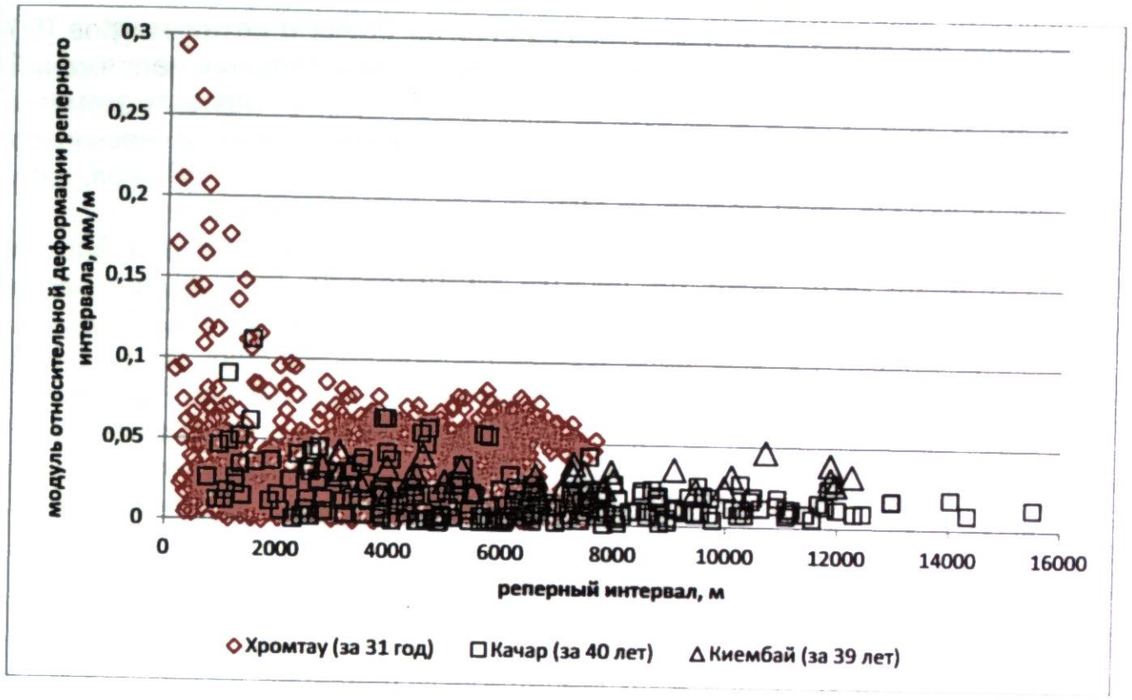


Рис. 4 – Длины и абсолютные значения относительных деформаций реперных интервалов, замеренных на месторождениях ДОН ГОКа, Качарском и Киембаевском.

Соответственно и рост абсолютных значений смещений точек массива с увеличением баз деформирования свыше 2 км там происходит медленнее (рис. 3). Это согласуются с более низкими упругими и прочностными характеристиками горного массива Донских хромитовых месторождений и с их расположением на пересечении активных новейших разломов в пределах Западно-Уральской сейсмогенерирующей зоны.

На базах менее 2 км горный массив повсеместно демонстрирует качественно иное деформационное поведение, отражающее геомеханическую модель блочной среды. Вследствие концентрации деформаций на границах между взаимно смещающимися породными блоками с уменьшением расстояния между реперами наблюдается быстрый рост замеряемых значений относительной деформации реперных интервалов. На базах 200 – 500 м их значения достигают 0,3 – 0,4 мм/м, т.е. увеличиваются в 10 раз по сравнению с «фоновыми» деформациями массива в целом, действующими на базах более 2 км. Абсолютные значения смещений реперов при этом остаются в пределах 20 – 23 см.

Для модели сплошной среды, на которой основаны подавляющее большинство методик геомеханических расчетов, замеренные деформации порядка 0,3 – 0,4 мм/м являются достаточно малыми. При модуле упругости горного массива около 1 ГПа (такого порядка модули

упругости экспериментально фиксируются на базах в сотни метров [5], деформации соответствуют приращениям первоначальных напряжений на десятые доли МПа. Однако для приконтурных массивов подземных выработок и, соответственно, для баз деформирования в несколько метров, когда модули упругости повышаются в 5 – 10 раз, эти приращения составят несколько МПа, что уже существенно.

Еще более существенными являются смещения породных блоков относительно друг друга на десятки сантиметров, что неоднократно подтверждала практика ведения горных работ на шахтах ДОН ГОКа. Следствием деформационного поведения горного массива как блочной среды явились неоднократные аномальные нарушения крепления различных выработок в ситуациях, которые явно не укладывались в рамки модели статического (пусть даже и неравномерного) нагружения крепи для условий анизотропного напряженного состояния сплошной среды [1, 2, 6].

Вышеизложенные результаты натурных исследований показали, что ключевым геомеханическим фактором, определяющим структурный блок горного массива, является способность формирующих его породных структур более мелкомасштабных иерархий реагировать на внешнее силовое воздействие как единое целое. Данное свойство горного массива открывает возможность для решения практических задач геомеханики в статической постановке и на относительно небольшом числе пространственно-временных масштабных уровней путем задания на каждом из них в качестве граничных силовых условий тех напряжений и деформаций, которые действуют в рассматриваемый период времени на более крупномасштабном уровне.

На данной основе в ИГД УрО РАН разработана и реализована методика поэтапного построения модели геомеханического состояния системы «подземное сооружение - вмещающий породный массив», в которой граничные условия задаются суперпозицией напряжений и деформаций, получаемых в статической постановке упругой задачи на трех пространственно-временных масштабных уровнях, отражающих современные геодинамические движения трех иерархий структурных элементов горного массива:

1) Крупномасштабных геологических блоков с поперечными размерами в сотни - тысячи километров, определяющих НДС региона в целом;

2) Структурных блоков шахтного поля размерами порядка сотен метров, определяющих НДС отдельных участков месторождения;

3) Структурных блоков приконтурного вмещающего массива рассматриваемой горной выработки, с поперечными размерами порядка нескольких дециметров, подвижки которых определят НДС геотехнической системы « крепь подземного сооружения - вмещающий породный массив».

При проведении расчетов НДС учитываются особенности перехода между последовательными этапами математического моделирования, определяемыми этими масштабными уровнями. В первую очередь принимаются во внимание соответствие типов граничных задач, детализация структурного строения рассматриваемого объема горного массива и разброс его физических свойств. На наиболее крупномасштабном уровне оценка НДС осуществляется на основе данных о деформационных полях, получаемых по картам сейсмического районирования региона. Для более мелких масштабов граничные условия задаются из упругих решений, определяемых предшествующим, более крупномасштабным, уровнем. Решения, получаемые для каждого этапа моделирования, корректируются с привлечением данных инструментальных измерений напряжений и деформаций на соответствующем масштабном уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балек А. Е. Боликов В. Е. Исследование поведения неустойчивых напряженных горных массивов при строительстве шахтных стволов /Горный вестник. – 1995. – № 4. – С. 45 - 48.
2. Геомеханические проблемы при проходке и креплении капитальных горных выработок на шахте Центральная / В. Е. Боликов, А. Е. Балек, В. В. Тиль и др. // Горный журнал. – 1998. – № 6. – С. 15 - 17.
3. Сашурин А. Д. Особенности развития процесса сдвижения горных пород на месторождениях ДонГОКа / Проблемы и пути устойчивого развития горнодобывающих отраслей промышленности: материалы 4-й междунар. науч.-практ. конф. ИГД им. Д. А Кунаева. - Хромтау, 2007. – С. 220 - 227

1. 4 Балек А. Е. Натурные исследования по обеспечению устойчивости капитальных выработок в условиях запредельного напряженного состояния / Известия УГГУ Серия: Горное дело. – 2000. - №. 11. – С. 209 - 214.
2. 5 Балек А.Е., Сашурин А.Д. Совершенствование методики натурных замеров напряженно-деформированного состояния больших участков горного массива / Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2014. - № 11 С. 105-120.
3. 6 Боликов В.Е., Балек А.Е., Саммаль А.С. Бекеев М.М. Теория и практика решения проблемы устойчивости горных выработок Донского ГОКа / Горный журнал Казахстана. - 2013. - №.5 - С. 14 - 19.

УДК 622.83

РОЛЬ ГЕОМЕХАНИКИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОГО И ЭФФЕКТИВНОГО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

А.Д. Сашурин, А.А. Панжин
Институт горного дела Уро РАН

В работе рассмотрена роль геомеханических процессов и явлени в развитии и проявлении опасных ситуаций при разработк месторождений полезных ископаемых, создающих угрозу рабочем персоналу и окружающему населению. Установлено, что основ формирования опасных геомеханических процессов и явлени представляют фундаментальные свойства массива горных пород - иерархическая блочность и постоянная подвижность, обусловленна современными геодинамическими движениями.

Ключевые слова: геомеханика, безопасность, эффективность недропользование, массив горных пород, иерархическая блочность геодинамические движения.

THE ROLE OF GEOMECHANICS IN ENSURING A SAFE AND EFFECTIVE MINING

A. D. Sashourin, A. A. Panzhin
Institute of Mining of Ural Branch of Russian Academy of Sciences

The paper describes the role of geomechanical processes and phenomena in the development and manifestation of hazardous situations in the development of mineral deposits, threatening the working personnel and the surrounding population. Established that the basis for the formation of hazardous geomechanical processes and phenomena are the fundamental properties of the rock mass - hierarchical blocking and constant mobility caused by the recent geodynamical movements.

Keywords: geomechanics, safety, efficiency, mining, rock mass, hierarchical blocking, geodynamical movements.

На всем протяжении истории горного дела одними из затруднений, определяющими эффективность добычи полезного ископаемого и, одновременно, одними из угроз безопасному ведению горных разработок являются геомеханические процессы и явления в массиве горных пород, неразрывно сопровождающие горные работы. Основоположник российской науки геомеханики, И.М. Бахурин (1946), в середине прошлого века отмечал, что «вся история горного дела, вся история изыскания наилучших систем разработок есть история борьбы со сдвижением горных пород», подразумевая, на тот период, под сдвижением горных пород все деформационные процессы в массиве горных пород, сопровождающие разработку месторождений, исследованием которых посвящена наука геомеханика [1].

Исследования геомеханических процессов и явлений, выполненные за прошедший период, полностью подтвердили правоту этих взглядов. Действительно, все геомеханические процессы и явления, несущие угрозу безопасности горных разработок, препятствующие эффективности добычи полезных ископаемых, нарушающие безопасность и комфортное проживание окружающего населения, связаны напрямую, а иногда опосредовано, с деформационными процессами, вызванными вмешательством в природную среду. Всеобъемлющая роль деформационных процессов в нарушении устойчивости пород в горных выработках различного назначения и формировании аварийных ситуаций предопределили геомеханике, изучающей закономерности деформационных процессов в массиве горных пород в условиях его естественного залегания и в областях влияния недропользования, статус ключевой науки в обеспечении безопасного и эффективного ведения горных работ.

До недавнего времени в горной науке и практике ведения горных работ массив горных пород рассматривался, а во многих случаях и в настоящее время рассматривается, как стабильная, равновесная среда, находящаяся в однородном напряженном состоянии, формируемом воздействием собственного веса пород и тектоническими силами, возникшими от геодинамических процессов, протекавших в прошлые геологические периоды. Нарушение установившегося равновесия происходило лишь от техногенной деятельности недропользования. Столь упрощенный подход к массиву горных пород верхней части литосферы как неотъемлемой части Земли, не отражающий происходящих в ней эндогенных и экзогенных процессов и явлений, оборачивается серьезными катастрофами с трагическими последствиями. Среди них к наиболее масштабным следует отнести выбросы и возгорания газов с массовой гибелью людей на угольных шахтах, горные удары и техногенные землетрясения, затопления рудников, свежие примеры которых произошли в последние десятилетия: шахта «Соколовская» (ССГПО, 2005г.), шахта «Магнетитовая» (ВГОК, 2009г.), рудник «Мир» (АЛРОСА, 2017г.). Наряду со столь масштабными катастрофами, разработку месторождений постоянно сопровождают другие менее масштабные аварийные события. Негативные последствия, вызванные несоответствием

прогнозируемых процессов и явлений, принимаемых пр
проектировании горных разработок, реальным, обуславливаю
актуальность геомеханических исследований на протяжении многих лет
обостряющуюся по мере расширения масштабов горного производства
опускания добычи полезных ископаемых на все большие глубины.

Исследования Уральской школы геомехаников позволили на основе подтвержденных данных о фундаментальных свойствах массива горных пород – иерархической блочности и постоянной подвижности выявить ряд основных закономерностей процессов и явлений протекающих в массиве горных пород в условиях их естественного залегания и в области влияния техногенной деятельности недропользования. Исследования проводились на горнодобывающих предприятиях с открытым и подземным способами разработки месторождений твердых полезных ископаемых Урала и Казахстана [2].

Обширность процессов и явлений, происходящих при проведении горных работ и попадающих в круг интересов геомеханики обуславливает комплексный подход к выполнению исследований. Получение исходной информации осуществляется экспериментальными методами в полевых натурных условиях. Последующая их интерпретация производится с применением теоретических методов компьютерного моделирования с использованием аппаратов механики сплошной среды.

Исследованиями установлено, что поведение и состояние массива горных пород как в условиях его естественного состояния, так и в области ведения горных работ, определяются его напряженно-деформированным состоянием, формируемым двумя фундаментальными свойствами массива горных пород – его иерархически блочным строением и современными геодинамическими движениями, придающими ему постоянную подвижность [3 -9]. В соответствии с этим, методы исследований направлены в первую очередь на изучение структурных особенностей массива горных пород, которое производится геофизическими методами дистанционного зондирования [10,11]. Иерархически блочная среда играет одну из определяющих ролей в поведении массива горных пород и устойчивости объектов недропользования, создавая серьезные проблемы в прогнозной оценке надежности и безопасности горных конструкций различных масштабов. Так, например, для подготовительных горных выработок требуется оценить поведение объемов массива с размерами, исчисляемыми десятками метров, а для борта карьера требуется оценка поведения массива с размерами сотни метров, а иногда и первых километров. Эту задачу решают методы электрометрии в различных вариантах, в том числе электротомографии, метод георадарного зондирования и спектрального сейсмопрофилирования.

Формирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород в естественных условиях происходит под действием собственного веса горных пород и тектонической деятельности, которая в настоящее время характеризуется современными геодинамическими движениями, разделяемые условно на трендовые и цикличные короткопериодные. В области влияния недропользования к естественным факторам добавляется техногенный, нарушающий природное динамическое равновесие, создающий вторичное напряженно-деформационное поле вокруг горных выработок, зависящее от их параметров. Исследования современных геодинамических движений осуществляется геодезическими методами путем проведения мониторинга за изменением координат геодезических знаков наблюдательных станций на земной поверхности методом спутникового позиционирования (GNSS). Измерения, проводимые комплексом GNSS, показали свою высокую эффективность для решения задач геомеханики, благодаря его применению стали возможными не только дискретные измерения, но и регулярный мониторинг деформаций и напряжений, происходящих в земной коре [12, 13]. Пространственная координатная привязка пунктов геодинамического полигона осуществляется двухсистемными (GPS-ГЛОНАСС) двухчастотными приемниками геодезического класса, паспортная и фактическая точность которых соответствует 3-5мм+1ppm в плане и 5-7мм+1ppm по высоте.

На первом этапе определяются текущие пространственные координаты пунктов геодинамического полигона, при этом центрирование и ориентирование геодезических построений осуществляется с использованием постоянно действующих GNSS станций (CORS) Уральского региона и глобальной сети IGS с координатной привязкой к Международной Земной системе отчета (ITRF) [14].

Трендовые движения пунктов геодинамического полигона и реперов наблюдательной станции определяются на основе анализа изменений пространственных приращений координат (векторов) ΔX, ΔY, ΔZ, происходящих в промежутках между повторными циклами измерений, а цикличные короткопериодные определяются проведением непрерывных измерений [15]. Полученные в результате инструментальных измерений деформации интервалов, с использованием математического аппарата механики сплошной среды преобразуются в векторное и тензорное представление деформационного поля с выделением главных компонентов тензора деформаций [16].

На втором этапе программа инструментальных наблюдений включает в себя определение высотных отметок реперов наблюдательной станции, промеры длин линий между реперами, а

также пространственное координирование с использованием комплекса спутниковой геодезии и выполнение специальных работ по диагностике геодинамической активности исследуемой территории. В результате инструментальных наблюдений в вертикальной плоскости определяются величины оседаний реперов, деформации наклона и скорости приращения наклонов; в горизонтальной плоскости определяются параметры векторов сдвижений, горизонтальные деформации растяжения-сжатия и их скорости.

Визуализация результатов инструментальных измерений сдвижений и деформаций производится путем построения векторного поля горизонтальных перемещений (рисунок 1) и тензоров горизонтальных деформаций (рисунок 2) регулярной сети геомеханической модели, построенной методом конечных элементов (МКЭ). Также анализируется изменение границы и формы сети конечных элементов, отражающее характер деформирования исследуемого участка. Узловыми элементами модели МКЭ являются пункты геодинамического полигона и репера наблюдательной станции, для которых определены пространственные перемещения между выполненными повторными циклами измерений.

Результаты мониторинга современных трендовых геодинамических движений на карьере по добыче хризотил-асбеста за период с 2006 – 2017 годы в виде векторов смещений представлены на рисунке 1.

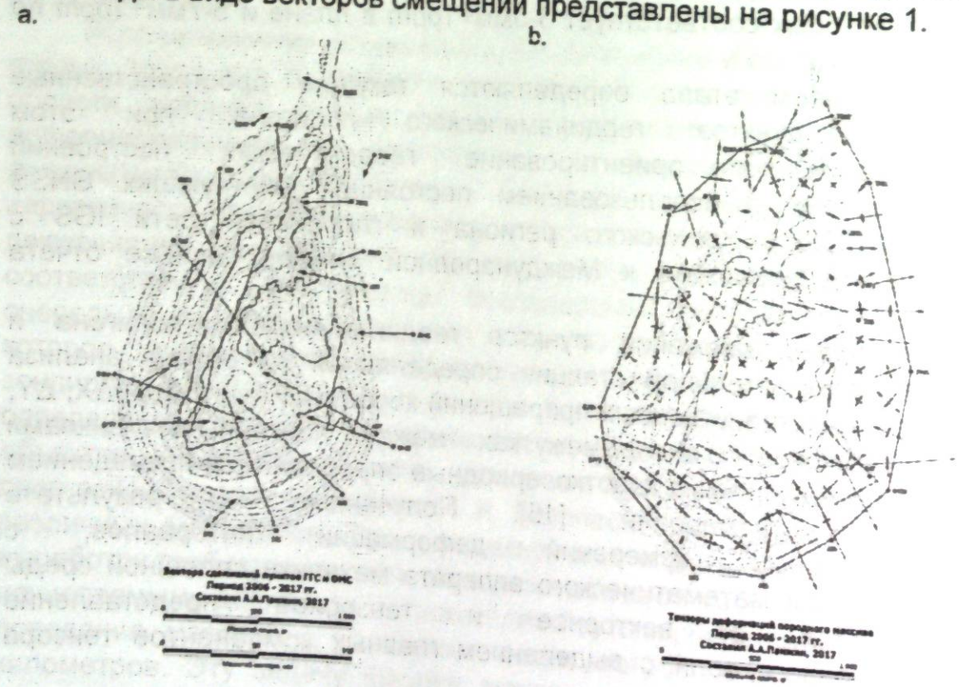


Рис. 1 – Сдвижения и деформации прибортового массива:
a - горизонтальные векторы современных геодинамических движений в районе карьера за период 2006 – 2017 годы: b - тензоры горизонтальных деформаций,

вызванных современными геодинамическими движениями в районе карьера за тот же период

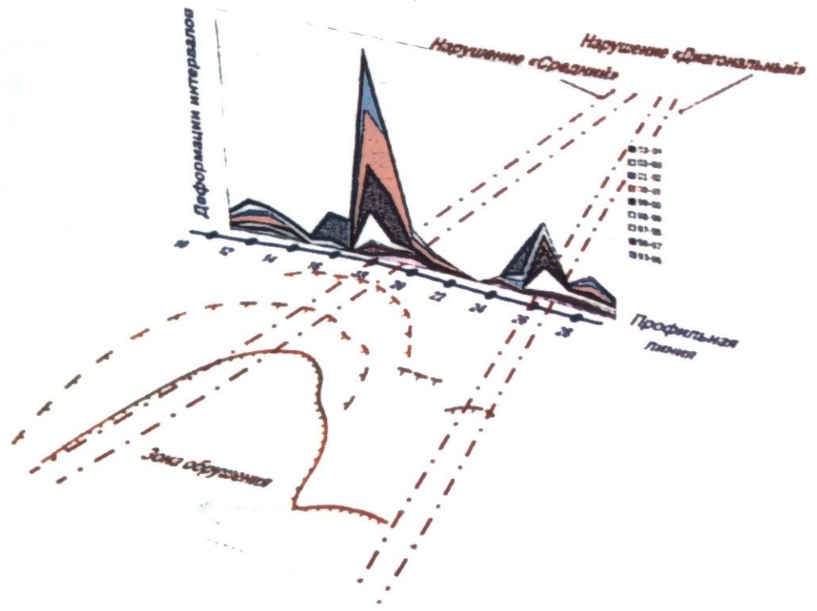


Рис. 2 – Аномальные значения деформаций на границах вторичных структур породного массива

Суммарные величины смещений, вызванных современными геодинамическими движениями и изменением параметров карьера за этот период, как следует из рисунка, на разных участках карьера различны и колеблются от 10 – 15 до 60 – 70 мм. Также неоднородна и направленность векторов смещений. Во многом она определяется техногенным фактором, в соответствии с которым преобладает направленность внутрь карьера, но наблюдаемый разброс в их направлениях и величинах свидетельствуют о существенном влиянии исходных геодинамических движений.

Неоднородность и мозаичность напряженно=деформированного состояния особенно контрастно проявляется в поле горизонтальных деформаций, представленном на рисунке 2 в виде тензоров деформаций, полученных методом конечных элементов (МКЭ) с использованием векторов смещений в качестве граничных условий. По контуру карьера преобладают тензоры с различными знаками деформаций – растяжения и сжатия, отличающимися величинами. В центральной части тензоры более однородны и представлены незначительными сжатиями по обоим главным направлениям.

Интерпретация и анализ результатов исследований формирования напряженно-деформированного состояния на различных предприятиях, разрабатывающих месторождения полезных ископаемых открытым и подземным способами с различными геомеханическими условиями выявили основные закономерности развития деформационных

процессов в массиве горных пород, играющие ключевую роль в безопасности и эффективности горных работ. Исследованиями установлено:

- иерархически блочная среда массива горных пород, находясь в постоянной подвижности под воздействием трендовых и короткопериодных цикличных современных геодинамических движений, подвергается вторичному структурированию;

- следствием вторичного структурирования иерархически блочного массива является дискретная мозаичная структура напряженно-деформированного состояния, на границах вторичных структур которой концентрируются современные геодинамические движения, вызывая деформации, превышающие в 2-5 раз внутриблочные и интегральные (рисунок 3).

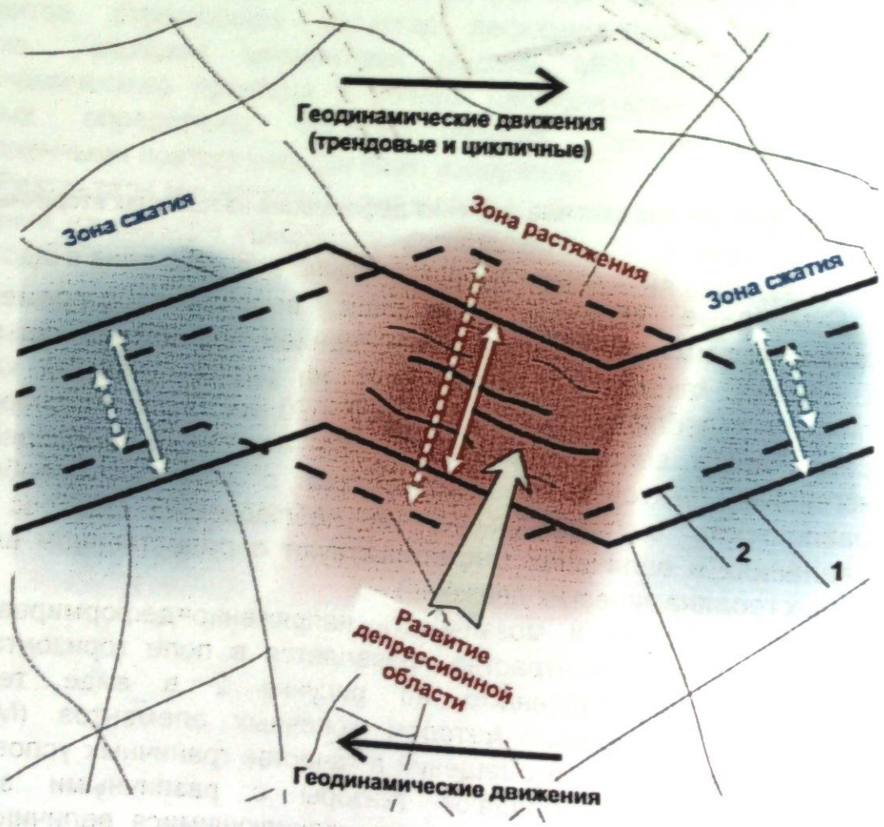


Рис.3 – Схема развития мозаичного строения напряженно-деформированного состояния под воздействием межблочных подвижек вторичных структур

- мозаичность строения напряженно-деформированного состояния усиливается межблочными встречными подвижками по границам вторичных структур, создающим зоны концентрации сжимающих напряжений и зоны депрессии, где массив горных пород может полностью освободиться от сжимающих напряжений (рисунок 4);

- аномальные деформации в мозаичном напряженно-деформированном состоянии, вызванные вторичным структурированием и постоянной подвижностью, являются основным источником опасного воздействия на техногенные объекты недропользования как в депрессионных зонах [17], так и в областях концентрации сжимающих деформаций.



Рис. 4 – Образование зоны обрушения над отрабатываемой залежью в депрессионной зоне

Таким образом, проведенными исследованиями выявлены механизм и закономерности развития катастрофических деформационных процессов в массиве горных пород, выражающиеся в сдвиговых разрушениях, обусловленных мозаичной структурой напряженно-деформированного состояния с широким спектром

значений компонентов тензоров напряжений и деформаций, формирующейся в иерархически блочной среде под воздействием современных геодинамических движений, определяющие геомеханике статус ключа в обеспечении безопасности и эффективности недропользования. Технология диагностики геологической среды для прогноза опасных условий недропользования предусматривает выявление граничных зон вторичных структур, оценку степени опасности деформационных процессов и принятия упреждающих мер.

В формировании напряженно-деформированного состояния верхней части литосферы при недропользовании определяющая роль принадлежит фундаментальным свойствам массива горных пород – иерархически блочной структуре и постоянной подвижности под воздействием современных геодинамических движений, следствием сочетания которых является открытая нелинейная система, самоорганизующаяся в пространстве и времени под воздействием явления вторичного структурирования.

Явление вторичного структурирования формирует мозаичную структуру напряженно-деформированного состояния, определяющую неравномерную степень воздействия деформационных процессов на объекты недропользования.

Основным источником аварийных и катастрофических событий на объектах недропользования являются межблочные подвижки между вторичными структурами, параметры которых в 2-5 раз превышают внутриблочные и интегральные.

Ключом к обеспечению безопасности и эффективности недропользования является диагностика и прогнозная оценка воздействия на объекты недропользования геомеханических процессов и явлений на основе выявления граничных зон вторичных структур и определения параметров движений и деформаций в этих зонах с учетом соотношения между размерами объектов и параметрами вторичных структур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахурин И.М. Сдвижение горных пород под влиянием горных разработок. – М. – Л.: Гостопиздат, 1946. – 229 с.
2. Усанов С.В., Коновалова Ю.П. Проблемы недропользования. 2016. № 4 (11). С. 104-110. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.104
3. Усанов С.В., Коновалова Ю.П., Желтышева О.Д. Современные технологии мониторинга процесса сдвижения // Горный журнал. 2012. № 1. С. 36-39.
1. 4. Садовский М.А Естественная кусковатость горной породы // ДАН. - 1979. - Т. 247. - № 4. – С. 829 – 831.
4. Садовский М.А. Иерархия от пылинок до планет // Земля и Вселенная. -1984. - № 6. – С. 4 – 9.

5. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании // - М.: Агенство экологических новостей, 1999. – 220 с.
6. Сашурин А.Д. Геомеханика в горном деле: фундаментальные и прикладные исследования / Geomechanics in mining: basic and applied research // Горный журнал / EURASIAN MINING. - 2012. - № 1. - С. 29 - 32. / 17 – 19.
7. Панжин А.А. Исследование гармоник квазипериодических современных деформаций породного массива на больших пространственно-временных базах // Горный информационно-аналитический бюллетень. -2010. -№9. – с. 313-321.
8. Коновалова Ю.П. Исследование цикличных короткопериодных геодинамических деформаций территорий при выборе площадок под строительство атомных станций// Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. - №7. – с.269-274.
9. Мельник В.В., Замятин А.Л. Исследование и создание геолого-структурной и геомеханической модели участка недропользования // ГИАБ. - 2005. - № 4. – С. 226-230.
10. Мельник В.В. Оценка влияния структурно-тектонического строения массива горных пород на основания инженерных сооружений // Маркшейдерия и недропользование. -№6. -2014 г. -С. 56-59.
11. Gao Jing-Xiang, Hu Hong Advanced GNSS technology of mining deformation monitoring // Procedia Earth and Planetary Science. 2009. Vol. 1. Iss. 1. P. 1081-1088.
12. Панжин А. А. Пространственно-временной геодинамический мониторинг на объектах недропользования // Горный журнал. 2012. № 1. С. 39–43.
13. Панжин А.А. Исследование геодинамических движений CORS для обоснования методики контроля процесса сдвижения на месторождениях Уральского региона // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 1 (49). С. 22-26.
14. Fengshan Ma, Haijun Zhao, Yamin Zhang, Jie Guo, Aihua Wei et al. GPS monitoring and analysis of ground movement and deformation induced by transition from open-pit to underground mining // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2012. Vol. 4 (1). P. 82–87.
15. Мазуров Б. Т., Панжин А. А., Силаева А. А. Структурное моделирование полученных по геодезическим данным сдвижений путем визуализации // Геодезия и картография. 2016. № 3. С. 35–40.
16. Ручкин В.И. Сдвижение горных пород при отработке Южной рудной залежи Песчанской группы месторождений// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № 5. С. 45-48.

УДК 622.831.32

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРАКТИКИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГОРНЫХ УДАРОВ В РУДНИКАХ РОССИИ

А.В. Ловчиков
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия

Рассмотрены направления развития практики предотвращения горных ударов в рудниках. Показано, что в последней инструкции Ростехнадзора РФ по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам (2013 г.), имеется ряд положений, несвойственных рудным месторождениям. К числу таких положений относится принцип отнесения месторождений к опасным по горным ударам по глубине разработки от поверхности, зона опорного давления, защитные залежи и ряд других. Обоснована неправомерность отмеченных положений применительно к рудным месторождениям, поскольку в массивах этих месторождений распространен гравитационно-тектонический, а не гравитационный тип естественного напряженного состояния массивов.

Ключевые слова: горный удары, глубина разработки, распределение напряжений, гравитационно-тектонический.

TRENDS OF DEVELOPMENT OF EXPERIENCE IN PREVENTION OF ROCKBURSTS IN THE RUSSIAN MINES

A.V. Lovchikov
Mining Institute Kola Science Centre RAS, Apatity, Russia

The paper considers trends of development of experience in preventing rockbursts in mines. It is demonstrated that the latest instruction of the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Super-vision Service of Russia on safe mining in rockburst-prone deposits (2013) has a series of positions nonrelevant for ore deposits. These include a principle of referring the deposits to rockburst danger-ous on the depth based on the depth of a mining excavation, a zone of bearing pressure, protective ore bodies and other. The author substantiates impropriety of the positions as applied to the ore deposits because in the rock mass of these deposits, the gravitational-tectonic type of the natural stress state prevails and not the gravitational type.

Key words: rockbursts, depth of a mining excavation, distribution of stresses, gravitational-tectonic.

Прошло более 20 лет после выходе последней крупной монографии по горным ударам в рудниках России [1]. Однако сколько либо существенного продвижения в борьбе с горными ударами на рудниках в российской горно-технической литературе за этот период не произошло. В то же время стали заметны определенные тенденции дальнейшего развития практики предотвращения горных ударов в рудниках. В 2013 году Ростехнадзором РФ выпущена инструкция по безопасному ведению горных работ на удароопасных рудных месторождениях [2], которая основана на идейных позициях работы [1], но практически ничем не отличается от нескольких подобных инструкций, выпущенных в предыдущие годы. За прошедший период стало очевидным, что некоторые позиции в инструкции [2] несвойственны рудным месторождениям, то есть неверны. В первую очередь это касается позиции отнесения участков месторождений к склонным и опасным по горным ударам по критерию глубины разработки. В работе [2] перечислены 40 рудных месторождений России, отнесенных к склонным и опасным по горным ударам, критической глубиной по опасности горных ударов на которых обозначена глубина от 150 м до 1000 м от поверхности. Теоретической основой принципа отнесения месторождений к опасным по горным ударам по глубине от поверхности служит представление о том, что единственной силой, создающей опасность горных ударов в горных выработках, является вес толщи покрывающих пород, то есть гравитационных сил веса пород до поверхности [3].

Проверим представления о гравитационной природе горных ударов в рудниках элементарным расчетом. В работах И.А. Турчанинова, Г.А. Маркова и других [4] показано, что горные удары в выработках рудников в крепких скальных породах происходят при соотношении напряжений на их контуре:

$$\sigma_д > 0.8\,\sigma_с \qquad (1),$$

где $\sigma_д$ – максимальные сжимающие напряжения, действующие на контуре горной выработки, т/м^2;

$\sigma_с$ – прочность пород при сжатии, т/м^2.

На большинстве рудных месторождений России прочность пород при сжатии составляет $\sigma_с$=(100÷200) МПа=10000÷20000 т/м^2 и выше. Примем минимальное значение прочности пород при сжатии $\sigma_с$=100 МПа=10000 т/м^2. Коэффициент концентрации напряжений в боках выработок от вертикальных гравитационных напряжений, как известно, составляет k≅2. Примем значение удельного веса пород для рудных месторождений γ=3.0 т/м^3 (на большинстве месторождений значение удельного веса пород близко к этому показателю). Предельные действующие

напряжения на контуре выработки для достижения опасности горных ударов могут быть определены по следующей формуле:

$$\sigma_д = 0.8 k_y H \qquad (2),$$

где H – глубина расположения выработки, м;

остальные обозначения даны выше.

Соотношение максимальных действующих напряжений сжатия на контуре выработки и прочности пород, в зависимости от глубины расположения, даны в таблице 1.

Таблица 1

Зависимость максимальных напряжений сжатия на контуре выработки от глубины ее расположения, H

Глубина H, м	500	1000	1500	2000	2500
$\sigma_д$, т/м^2	2400	4800	7200	9600	12000
$\frac{\sigma_д}{\sigma_c}$	0.24	0.48	0.72	0.96	1.20

Как видно из таблицы 1, максимальные гравитационные напряжения сжатия от веса толщи покрывающих пород на рудных месторождениях достигают уровня, способного вызывать горные удары, только на глубине 2000-2500 м от поверхности. Указание критической глубины по проявлениям горных ударов 150-1000 м от поверхности, приведенное в работе [2], является неправомерным, так как на таких глубинах в рудниках гравитационные силы не способны вызывать горные удары. Принцип определения опасности по горным ударам в зависимости от глубины разработки имеет исторические корни и связан с тем, что в России первые проявления горных ударов произошли на угольных шахтах в 40-х годах XX века. Первые правила безопасного ведения горных работ в условиях опасности по горным ударам были разработаны для угольных шахт. На угольных месторождениях основной силой, создающей удароопасную ситуацию в горных выработках, действительно является вес толщи налегающих пород. На рудных месторождениях России горные удары стали проявляться на два десятилетия позднее, чем на угольных, однако правила предотвращения горных ударов, разработанные для угольных месторождений, были затем механически перенесены на рудные месторождения. Считалось, что причины и механизм возникновения горных ударов на угольных и рудных месторождениях одинаков. Характерной, в этом отношении, является работа [5], в которой прямо указано, что правила предотвращения горных ударов в рудниках и шахтах одни и те же.

В выражении (1) указывается величина действующих напряжений, но не указывается их направление. В работах [1-3] подразумевается, что это направление является вертикальным, соответствующим

направлению сил гравитации. Однако в 70-х годах прошлого века было установлено, что в массивах горных пород рудных месторождений действуют тектонические силы современных горообразовательных процессов в литосфере, которые имеют горизонтальное направление в пространстве [4]. В разных массивах азимут направления горизонтальных тектонических сил различен, но их величина на глубине до 500 м от поверхности в 5-10 раз превышает величину гравитационных сил веса пород на соответствующей глубине. В конце XX века учеными многих стран мира установлено, что тектонические напряжения горизонтального направления действуют в 70% поверхности литосферы и являются одним из основных факторов, формирующих ее напряженное состояние [6]. Таким образом, главным силовым фактором в массивах рудников, определяющим их напряженное состояние и опасность горных ударов в выработках, являются современные тектонические силы горообразовательных процессов в литосфере. Между тем в инструкции [2] тектонические силы (тектонические напряжения) нигде даже не упомянуты. Основными факторами, влияющими на опасность горных ударов в рудниках, вследствие действия тектонических напряжений в массивах, являются следующие:

1) горизонтальная ориентировка тектонических напряжений в строго определенном в горизонтальной плоскости направлении;

2) резкая разница в условиях проявления опасности горных ударов в зависимости от направления оси выработок в горизонтальной плоскости;

3) многократное превышение тектонических сил сжатия над гравитационными силами на глубинах расположения горных выработок;

4) приуроченность тектонических напряжений к наиболее прочным породным разновидностям;

5) зависимость проявлений удароопасности от геолого-структурного строения массивов.

Поскольку тектонические напряжения имеют горизонтальную ориентировку в пространстве и во много раз превышают по величине гравитационные напряжения, оказываются неправомерными такие ключевые понятия в инструкции [2] по предупреждению опасности горных ударов в рудниках как:

зона опорного давления;

зона повышенного горного давления (зона ПГД);

зона разгрузки;

защитное рудное тело или его часть (слой);

защитная зона;

критическая глубина по проявлениям горных ударов и ряд связанных с ними позиций.

В этих условиях некоторые положения инструкции [2] оказываются не только неправомерными, но и пагубными. В частности, неправомерным является понятие «защитное рудное тело» и методика построения границ защищенных зон при отработке сближенных рудных залежей в условиях действия в массиве горизонтальных тектонических напряжений. В работе [2] предполагается, что при отработке защитного рудного тела происходит защита другого сближенного рудного тела от горных ударов, которое демонстрируется схемой отработки двух сближенных наклонных рудных тел. В нашей работе [7], на основании результатов численного моделирования, показано, что при действии горизонтальных тектонических напряжений удароопасность пород на соседнем сближенном рудном теле, в результате отработки защитного, не только не снижается, а наоборот, многократно усиливается. На рис. 1 приведено распределение вертикальных (рис. 1[а]) и горизонтальных (рис. 1[б]) напряжений при выемке двух сближенных залежей по схеме, рассмотренной в работе [2], и при действии в массиве горизонтальных тектонических напряжений T=-50 МПа. На рис. 1 дано распределение напряжений при полной выемке основной залежи и только верхней части сближенной, которая по работе [2] должна быть защищенной.

а) б)

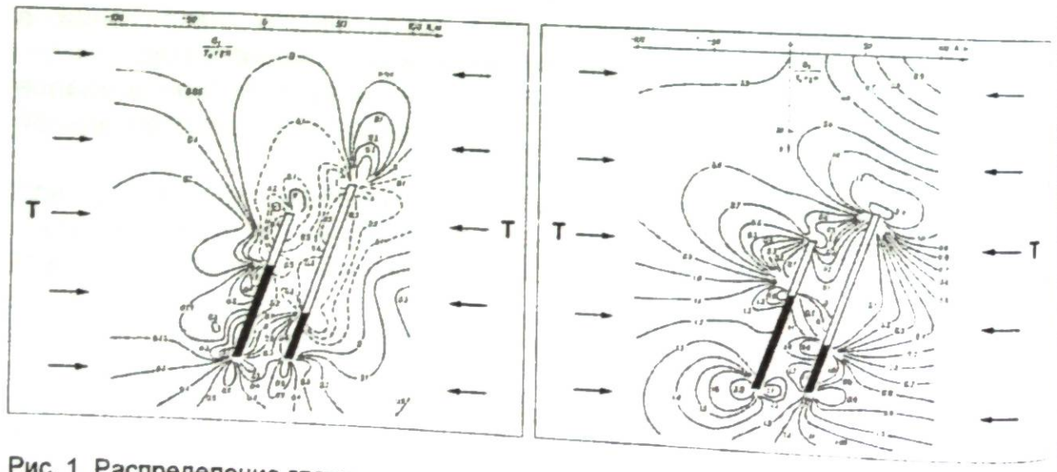


Рис. 1. Распределение главных напряжений и при выемке верхней части сближенной залежи: а) вертикальных (σ_1); б) горизонтальных (σ_2).

Как видно из рис. 1[а], вертикальные напряжения в междупластьи залежей являются растягивающими (показаны на рис. 1[а] пунктиром), они охватывают всю смежную зону отработки залежей и распространяются в сторону дневной поверхности. Величина вертикальных растягивающих напряжений σ_1 в междупластьи залежей достигает 0.5T и в 2-2.5 раза превышает предел прочности пород на растяжение. Горизонтальные напряжения σ_2 у концов основной залежи и нижнего конца сближенной залежи образуют концентрацию сжимающих напряжений величиной

(1.8–2.0)T. При величине прочности пород на сжатие σ_c=100 МПа, значение этих напряжений близко к пределу прочности и их удароопасность становится очевидной. При полной отработке сближенной залежи до уровня основной растягивающие напряжения σ_1 и сжимающие σ_2 еще более возрастают. В междупластьи может происходить разрушение горных пород от растягивающих усилий в форме горного удара.

Таким образом, при наличии в массиве горизонтальных тектонических сил удароопасность сближенной залежи, в процессе отработки основной, по схеме, представленной на рис. 1, не только не снижается, но и значительно увеличивается. Причиной является резко неравномерное распределение напряжений вокруг залежей: возникает концентрация сжимающих напряжений у концов отрабатываемых залежей, происходит появление растягивающих напряжений в междупластьи и рост зоны их распространения в сторону дневной поверхности по мере отработки сближенной залежи. Величина сжимающих напряжений в зонах концентрации близка к пределу прочности пород, а величина растягивающих напряжений превосходит предел прочности, что создает очаг для проявлений не только горных ударов, но и их максимальной формы, – горно-тектонических ударов в междупластьи.

Образование очага и возникновение горно-тектонического удара в междупластьи двух сближенных залежей в тектонически напряженном массиве на практике наблюдалось при эксплуатации рудника «Умбозеро» Ловозерского редкометального месторождения. На руднике отрабатывались две пологопадающие сближенные пластообразные рудные залежи (угол падения каждой из них 17° к горизонту) мощностью 2.5 м нижняя и 5.5 м верхняя. Расстояние между залежами по вертикали 50-60 м, глубина отработки нижней – 200-400 м, и верхней – 100-200 м от поверхности.

Массив рудника является высоко тектонически напряженным. На уровне отработки залежей в массиве зарегистрированы тектонические напряжения близгоризонтального субширотного направления величиной (50-60) МПа, которые являются основной действующей силой, формирующей напряженное состояние пород вокруг выработок. 17.08.1999 г. на руднике «Умбозеро» произошел сильнейший горно-тектонический удар, в результате которого горные выработки на нижней рудной залежи были разрушены на площади 650 тыс. м^2. Мощность (энергия) удара оценена Кольским региональным сейсмологическим центром РАН магнитудой M=5.1 (энергетический класс k=11.8). Удар произошел в том месте, где над отработанной частью нижней залежи стала отрабатываться другая сближенная более мощная (мощность 5.5 м) верхняя залежь. В горных выработках прослежено, что от междупластья залежей до дневной поверхности под углом 40° к

горизонту проросла громадная наклонная трещина длиной более 500 м и толщиной 10-20 см. Образование трещины сопровождалось описанным горно-тектоническим ударом.

Распределение напряжений вокруг выработок рудника «Умбозеро» при выемке двух сближенных залежей при действии в массиве горизонтальных тектонических напряжений T=-50 МПа исследовалось методом математического моделирования (методом граничных элементов) в плоской (двухмерной) постановке. Моделировался вертикальный поперечный разрез рудника с граничными условиями, предусматривающими действие гравитационно-тектонических напряжений в массиве. Схема распределения главных напряжений σ_1 после отработки нижней залежи и четырех камер верхней перед горно-тектоническим ударом показана на рис. 2.

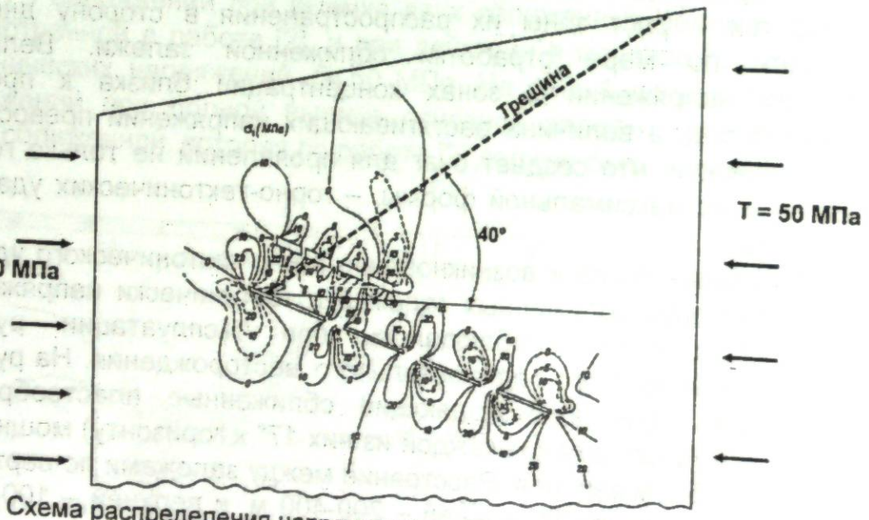


Рис. 2. Схема распределения напряжений и образования трещины в покрывающей толще пород на руднике «Умбозеро».

Из рис. 2 видно, что вся зона междупластья двух залежей охвачена растягивающими напряжениями величиной до (10-20) МПа (растягивающие напряжения показаны пунктиром), которые распространяются в сторону дневной поверхности. Величина растягивающих напряжений вдвое превышает предел прочности пород. Вследствие действия этих напряжений в массиве произошел горно-тектонический удар и проросла громадная трещина длиной более 500 м от междупластья до дневной поверхности.

На рис. 3 показано расположение горных выработок рудника «Умбозеро» в поперечном разрезе, образовавшейся трещины и «защищенной зоны», построенной по методике [2]. Из рис. 3 видно, что построение защищенной зоны, в соответствии с методикой инструкции

[2], в тектонически напряженном массиве не работает, так же, как и сама концепция «защищенной зоны». Более того, эта концепция в условиях рудных месторождений, массивы большинства их которых являются тектонически напряженными, является пагубной, поскольку создает условия для возникновения очагов сильных горно-тектонических ударов при отработке сближенных залежей, что наблюдалось при эксплуатации рудника «Умбозеро».

В последнее время в литературе появились работы, показывающие различие в принципах проявления опасности горных ударов в рудниках и угольных шахтах [8].

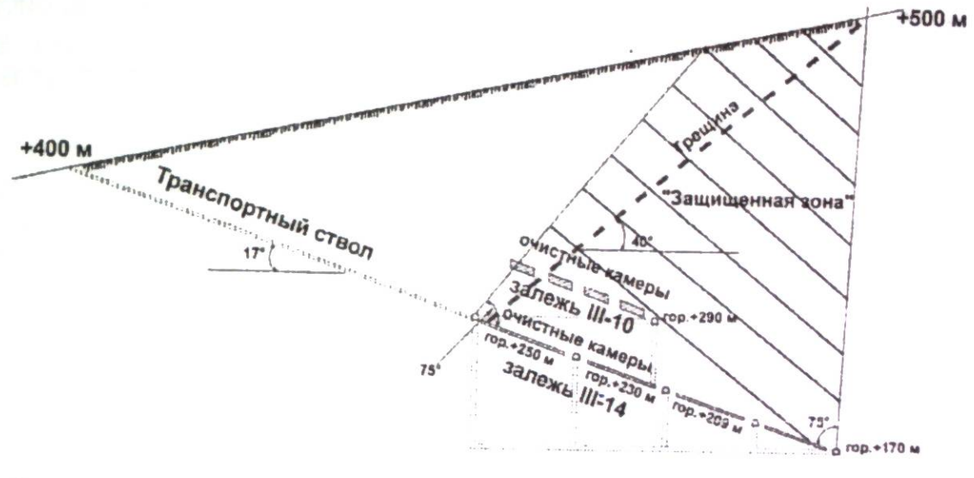


Рис. 3. Схема образования трещины в «защищенной зоне» на руднике «Умбозеро».

Угольные месторождения располагаются в массивах относительно непрочных осадочных пород, которым свойственны деформации пластичности и ползучести под нагрузками. Рудные месторождения располагаются преимущественно в массивах интрузивных или метаморфических пород, прочность которых на порядок выше, чем у пород осадочного происхождения Породы рудных месторождений разрушаются под нагрузками хрупко, взрывоподобно, поэтому этим породам в большей степени свойственно проявление горного давления в форме горных ударов. Породные массивы рудных месторождений более энергонасыщены, поэтому мощность динамических проявлений горного давления в них (горных и горно-тектонических ударов) выше, чем на угольных месторождениях [8].

Наконец, одной из важных тенденций практики борьбы с горными ударами в рудниках России стало то обстоятельство, что собственно горным ударам, то есть геодинамическим событиям в горных выработках с энергетическим уровнем $E \leq 10^5$ Дж, стали уделять относительно меньше внимания, чем в предыдущие годы [1]. Связано это с тем, что, во-первых, с такими явлениями научились бороться

локальными методами профилактики удароопасности (разгрузочные щели в кровле и боках выработок, камуфлетное взрывание и строчки шпуров в целиках и выработках, и другие). Необходимость профилактики этих явлений на местах обнаруживается с помощью сейсмоакустического контроля массива на автоматизированных станциях, методом визуальных и инструментальных наблюдений. Во-вторых, в последние годы больше внимания уделяется мощным геодинамическим явлениям в рудниках, – горно-тектоническим ударам и техногенным землетрясениям, энергетический уровень которых составляет E=(10^6-10^{12}) Дж, и которые приносят ущерб рудникам вследствие разрушения целиков и выработок [9]. Методы прогноза и профилактики этих явлений не разработаны. Пока происходит накопление материалов по указанным явлениям [9] для того, чтобы методы их прогноза и предотвращения были разработаны в дальнейшем.

Выводы.

1. В последние десятилетия в практике предотвращения горных ударов в рудниках России проявились некоторые тенденции, вызванные выходом последней инструкции Ростехнадзора РФ [2] по безопасному ведению горных работ на рудных месторождениях, склонных и опасных по горным ударам, обусловленные тем, что причиной горных ударов в инструкции считаются гравитационные силы от веса толщи налегающих пород. Поскольку в массивах рудных месторождений распространен гравитационно-тектонический тип естественного напряженного состояния, неправомерными представляются следующие положения инструкции [2]:

зона опорного давления;
зона повышенного горного давления (ПГД);
зона разгрузки;
защитное рудное тело или его часть (слой);
защитная зона;
критическая глубина по проявлениям горных ударов.

2. В российской горно-технической литературе появились работы, объясняющие разницу в проявлениях горных ударов на рудных и угольных месторождениях, основными моментами которых являются следующие:

а) в массивах рудных месторождений действуют гравитационно-тектонические поля напряжений, тогда как на угольных превалируют гравитационные, при этом тектонические напряжения по величине значительно превосходят гравитационные на соответствующих глубинах;
б) проявления сильных горно-тектонических ударов на рудных месторождениях значительно мощнее, чем на угольных, основной причиной чего являются более крепкие и энергонасыщенные породы рудных месторождений;
в) проявления горных ударов на рудных месторождениях на зависят от глубины разработки, а зависят от величины и направления действующих в массиве тектонических сил.

3. В последние годы динамические проявления горного давления в рудниках России относительно малого энергетического уровня (собственно горные удары) (E≤10^5 Дж) стали менее актуальны, поскольку с ними научились бороться локальными методами профилактики горных ударов. более актуальными в текущий момент являются задачи борьбы с мощными геодинамическими явлениями (E>10^7 Дж), горно-тектоническими ударами и техногенными землетрясениями в рудниках, меры прогноза и профилактики которых пока не разработаны.

Работа выполнена при содействии Российского фонда фундаментальных исследований, грант №18-05-00563.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прогноз и предотвращение горных ударов на рудниках. Под ред. И.М. Петухова, А.М. Ильина, К.Н. Трубецкого. М. Изд. АГН, 1997, 376 С.

2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам» (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 2.12.2013 г., №576).

3. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. М. Недра, 1983, 280 С.

4. Турчанинов И.А., Марков Г.А., Иванов В.И., Козырев А.А. Тектонические напряжения в земной коре и устойчивость горных выработок. Л. Наука, 1978, 256 С.

5. Егоров П.В., Иванов В.В., Дырдин В.В. и др. Справочное пособие для служб прогноза и предотвращения горных ударов на шахтах и рудниках. М. Недра, 1995, 240 С.

6. Global patterns of tectonic stress. / Zoback Mary Lui, Zoback Mark D, Amadei Y and eth / Nature, 1989, V 341, N 6240, p.p. 291-298.

7. Ловчиков А.В., Савченко С.Н. Защитные залежи в поле тектонических сил. Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. №2, 2015 г., С. 128-132.

8. Ловчиков А.В. Различие в опасности горных ударов на рудниках и угольных шахтах. Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. Том 4, №2, 2017, С. 105-111.

9. Ловчиков А.В. Сильнейшие землетрясения и горно-тектонические удары в рудниках России. Palmarium Academic Publiching, Германия, 2016, 141 С.

УДК 622.831

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ НА КАЛИЙНЫХ РУДНИКАХ

А.В. Евсеев, В.А. Асанов, П.Г. Бутырин

«Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия.

Разработана система непрерывного мониторинга состояния междукамерных целиков на основе измерения их поперечной деформации. Приведены результаты опытных работ.

Ключевые слова: контроль, мониторинг, устойчивость, скорость деформирования, междукамерные целики

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF REMOTE CONTROL OF THE STABILITY OF INTER CHAMBER PILLARS ON POTASSIUM MINE

A.V. Evseev, V.A. Asanov, P.G. Butyrin

"Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences" is a branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia.

A system of continuous monitoring of the state of Inter chamber pillars has been developed on the basis of measuring their transverse deformation. The results of experimental work are presented.

Key words: control, monitoring, stability, deformation rate, Interchamber pillars

При разработке месторождений водорастворимых руд основной задачей обеспечения безопасных условий ведения горных работ является сохранение сплошности водозащитной толщи, отделяющей вышележащие обводненные слои терригенно-карбонатных пород от продуктивной толщи, в течение всего срок службы рудника. Чаще всего

это достигается применением камерной системы разработки с поддержанием кровли на жестких междукамерных целиках, исключающей резкое деформирование водонепроницаемых слоёв. Однако практика ведения горных работ показывает, что даже при соблюдении всех требований нормативных документов при проектировании горных работ и отработке запасов, происходят неблагоприятные явления, проявляющиеся в разрушении краевых частей целиков и, в ряде случаев, приводящие к нарушению сплошности водозащитной толщи. В мире известно более 80 случаев затопления соляных рудников в результате поступления надсолевых пресных вод в выработанное пространство. Основной причиной аварий в большинстве случаев является несоответствие параметров камерной системы разработки (ширины камер и междукамерных целиков) горно-геологическим условиям конкретных отрабатываемых участков.

Эта проблема актуальна и для одного из крупнейших в мире Верхнекамского месторождения калийных солей, где за последние 30 лет произошло затопление трех рудников. На рудниках отрабатывают до трёх промышленных пластов, которые отделены друг от друга технологическими междупластьями мощностью от 1,5 до 8,0 м. Глубина ведения горных работ составляет 300-400 м. Выемка руды осуществляется комбайновым способом. Ширина камер изменяется в пределах от 3 до 16 м, высота определяется мощностью пластов и в среднем составляет от 3 до 7 м. Ширина междукамерных целиков варьируется в диапазоне от 3 до 18 м.

С момента начала отработки месторождения для контроля деформационных процессов на земной поверхности заложена и постоянно расширяется сеть профильных линий. По оседаниям и горизонтальным сдвижениям грунтовых реперов судят о деформационных процессах в подрабатываемом массиве. Основная проблема такого подхода заключается в запаздывании процессов сдвижения земной поверхности от момента начала разрушения целиков в руднике, что не позволяет своевременно принять необходимые конструктивные меры по обеспечению сохранности водозащитной толщи, а также ограниченном количестве профильных линий, вызванных высокой стоимостью их заложения, ограниченной доступностью и занятостью территории. В таких условиях необходим комплексный подход к контролю, как устойчивости междукамерных целиков, так и состояния подрабатываемой толщи.

Начиная с 1995 года на месторождении ведутся сейсмологические наблюдения. В пределах всего месторождения на земной поверхности и в горных выработках расположены станции региональной и локальной сейсмической сети. Наибольшее развитие сеть получила после мониторинга карстовых провалов, сформировавшихся при затоплении в 2006 году рудника БКПРУ-1. В настоящее время ведётся постоянная

модернизация сети и монтаж новейших регистраторов SeisView собственного производства. Долговременные наблюдения за сейсмичностью на калийных рудниках дают ценную информацию о процессах разрушения в подработанном соляном массиве. Проводимые наблюдения позволяют не только фиксировать единичные факты разрушения, но и сопоставлять параметры сейсмичности с особенностями ведения горных работ, что даёт основание считать его хорошим индикатором деформационных процессов в подработанном горном массиве и учитывать эти данные при планировании дальнейших горных работ. Сейсмологические наблюдения продолжают развиваться и в настоящее время, что связано с необходимостью детализировать мониторинг проблемных участков отдельных территорий. [1]

Одновременно с вышеперечисленными работами, ведутся шахтные инструментальные измерения. На первом этапе отработки месторождения такие исследования велись с целью контроля и корректировки выбранных параметров отработки запасов, а в настоящее время – с целью контроля геомеханической ситуации на отдельных участках, представляющих наибольшую опасность и требующих непрерывного мониторинга. Контроль устойчивости подземных выработок осуществляется, как правило, с использованием наблюдательных станций, представляющих собой систему контурных и глубинных реперов, закладываемых в кровлю и стенки выработок [2].

Замерная станция предусматривает изучение процессов поперечного расслоения целиков на отрабатываемых пластах, их вертикальную деформацию, контроль расслоения кровли верхнего пласта и междупластья, а также определение суммарной вертикальной деформации всей отрабатываемой толщи. По результатам измерений определяется смещение реперов и расслоение на каждом интервале. Периодичность замеров варьируется в зависимости от интенсивности процесса и задач исследования и может составлять от нескольких дней до года и более.

Измерениями деформаций массива в окрестности очистных камер, проводимыми по контурным и глубинным реперам, установлено, что деформационные процессы охватывают все элементы системы разработки – наблюдается расслоение междупластья, кровли и почвы очистных камер, продольное сжатие целиков и их поперечное растрескивание. Неудовлетворительное состояние кровли выработок на участках контроля, представляет опасность для рабочих при производстве измерений, что требует разработки методов дистанционного мониторинга геомеханического состояния междукамерных целиков (без нахождения рабочих в опасной зоне). Для этого необходимо решить две основных проблемы: определить наиболее информативные параметры контроля состояния целиков и разработать комплект измерительной аппаратуры.

Лабораторные испытания соляных пород показали, что относительная продольная деформация является одной из важных характеристик соляных пород, определяющая разрушение материала. Этот показатель может служить наиболее надёжным критерием, характеризующим устойчивость целиков. Однако в условиях шахты определить продольную деформацию крайне сложно, так как измерения на контуре выработок являются не достаточно информативными (по причине отслоения краевой части), а определить продольную деформацию в средней части целика практически невозможно. Вместе с тем, измерениями деформаций массива в окрестности очистных камер, проводимым по контурным и глубинным реперам, установлено, что достаточно информативным показателем, который с высокой степенью надёжности отражает геомеханическую обстановку на участке, является поперечная деформация целиков [3]. В этой связи в качестве критерия степени устойчивости целиков рекомендуется использовать величину поперечного деформирования (расслоения), измерять которую необходимо на некотором расстоянии от контура обнажения.

При проведении непрерывных измерений критерием перехода целиков в стадию интенсивного разрушения может служить резкое увеличение скорости их поперечного деформирования.

При разработке системы дистанционного мониторинга состояния приконтурного массива одним из важных этапов является выбор датчиков, регистраторов и методов передачи данных в центры сбора информации. Для измерения поперечной деформации целиков предложено использовать магнитострикционный датчик с диапазоном измерения 50 мм. В результате измерений определяется абсолютное положение подвижного курсора, что позволяет подавать питание на датчик только в момент измерения. Это крайне важно в случае автономной работы регистратора от аккумулятора. Оборудование замерной станции заключается в размещении датчиков при помощи специальных распорных устройств в горизонтальных шпурах.

Анализ опыта контроля геомеханических процессов на рудниках ПАО «Уралкалий» показал, что для регистрации и передачи данных в центры сбора информации наиболее рациональным является использование существующей сети сейсмологического контроля с модернизацией регистраторов SeisView [1] для обеспечения возможности подключения к ним датчиков деформации. Основным достоинством такого решения является возможность питания и передачи данных с помощью существующей шахтной телефонной линии, а также возможность (в случае необходимости) работы от автономных источников питания и сохранения данных на карту памяти.

Поступающие с регистраторов данные обрабатываются центром сбора информации, расположенным на земной поверхности и передаются посредством сети Интернет для дальнейшего анализа.

Общий вид оборудованной замерной станций приведен на рис. 1. К такому регистратору можно подключить сейсмический датчик, датчик перемещений или оба типа датчиков одновременно. Таким образом, при использовании регистраторов SeisView получается универсальная система, позволяющая осуществлять контроль состояния подрабатываемого массива разными взаимодополняющими методами.

Для оценки точности разработанной системы были проведены тестовые исследования точности измерений при зафиксированном положении курсора. Система включалась и выполняла измерения с периодичностью 1 раз в минуту. За 24 часа было выполнено более 1500 замеров в автоматизированном режиме. Разброс показаний за всё время измерений не превысил 0,005 мм.

Отработка методики контроля устойчивости целиков выполнялась на экспериментальных участках, где с 2013 года ведутся исследования деформаций с использованием глубинных и контурных реперов, а так же оборудована замерная станция для автоматизированного контроля деформаций целиков. Анализ результатов показал, что скорости деформирования целиков, определенные по двум методикам, достаточно хорошо совпадают. Данный факт свидетельствует о высокой точности и достоверности получаемых данных.

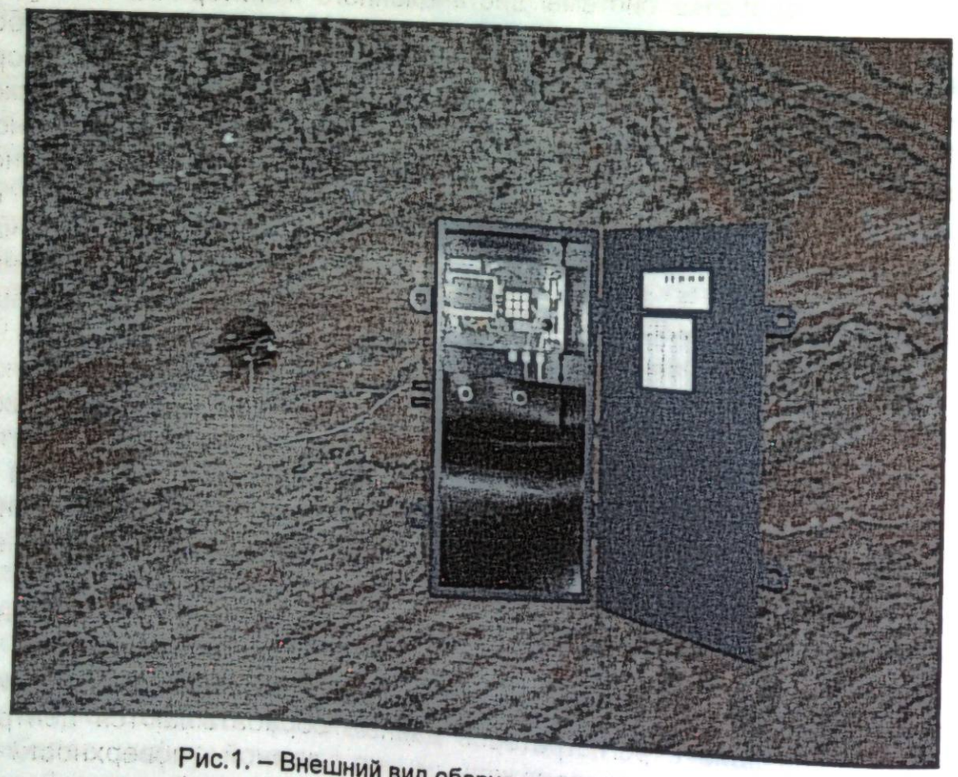


Рис.1. – Внешний вид оборудованной замерной станции

Таким образом, разработанная методика и комплект оборудования для дистанционного контроля устойчивости междукамерных целиков могут быть рекомендованы для проведения дистанционного контроля устойчивости конструктивных элементов системы в автоматизированном режиме на участках опасных для выполнения прямых натурных измерений. Данная методика может быть адаптирована для использования в других аналогичных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Seismic monitoring in potash mines: observation results and development aspects / Dyagilev R.A., Shulakov D.Y., Verholantsev A.V., Glebov S.V. / Eurasian mining №2 2013.
2. Асанов В.А., Токсаров В.Н., Евсеев А.В., Бельтюков Н.Л. Особенности поведения кровли выработок на южном фланге Верхнекамского месторождения калийных солей / ФТПРПИ №1 2012 – Новосибирск: ИГД СО РАН. с. 84-88.
3. Евсеев А.В. Методика инструментального контроля процессов деформирования камерного блока при двухпластовой отработке сильвинитовых пластов // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып 13 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2015, - 298 с., с.105-107

УДК 550.3

СИЛЬНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ СОБЫТИЕ ПОЗДНЕГО СРЕДНЕВЕКОВЬЯ НА ЮГО-ЗАПАДЕ ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ, КЫРГЫЗСТАН

А.М. Корженков[1,2], С.В. Абдиева[2], Е.А. Рогожин[1], А.А. Сорокин[1]
[1] Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия
[2] Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б.Н. Ельцина, Бишкек, Кыргызстан

Полученные нами данные по Юго-Восточному Прииссыккулью говорят о том, что в конце XVIII – начале XIX вв. там произошло сильное землетрясение. Оно образовало, наростило сейсмоуступ по северному горному обрамлению Алабаш-Конуролёнгской впадины, сильно повредило средневековые кумбезы у села Конгур-Олёнг. Его магнитуда была M ≥ 7, а интенсивность сейсмических колебаний Io ≥ IX баллов.

Ключевые слова: землетрясения, сейсмоуступ, кумбез, позднее средневековье, Алабаш-Конуролёнгская впадина, Иссык-Кульская впадина.

LATE MEDIEVAL STRONG SEISMIC EVENT IN SOUTH-WEST OF THE ISSYK-KUL DEPRESSION, KYRGYZSTAN

A.M. Korzhenkov[1,2], S.V. Abdieva[2], E.A. Rogozhin[1], A.A. Sorokin[1]
[1] O.Yu. Schmidt Istitute of Physics of the Earth, RAS, Moscow, Russia
[2] B.N. Eltsyn Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek, Kyrgyzstan

Our data on south-west of the Issyk-Kul Lake region testify on a strong earthquake occurred in the end of XVIII – beginning of XIX centuries. It formed, increased a fault scarp along the northern mountain frame of the Alabash-Konurolyong Depression and strongly damaged the medieval kumbezes by Kongur-Olyong Village. Its mangnitude was M ≥ 7 and intensity of seismic oscillations Io ≥ IX.

Key words: earthquakes, fault scarp, kumbez, Late Medieval, Alabash-Konurolyong Depression, Issyk-Kul Depression.

Введение

Иссык-Кульская межгорная впадина с севера обрамляется хребтом Кунгей Ала-Тоо, а с юга – Терскей Ала-Тоо, высотные отметки которых

превышают 5 000 м над уровнем моря (рис. 1). Мощность кайнозойских осадочных образований во впадине достигает 5 000 м. Впадина и ее горное обрамление характеризуются интенсивной сейсмической активностью (рис. 2). Странно, что эпицентры почти всех известных сильных землетрясений находятся к северу от озерной ванны. Получается, что южная часть Иссык-кульской котловины асейсмична? Изучению этого вопроса и посвящена данная статья.

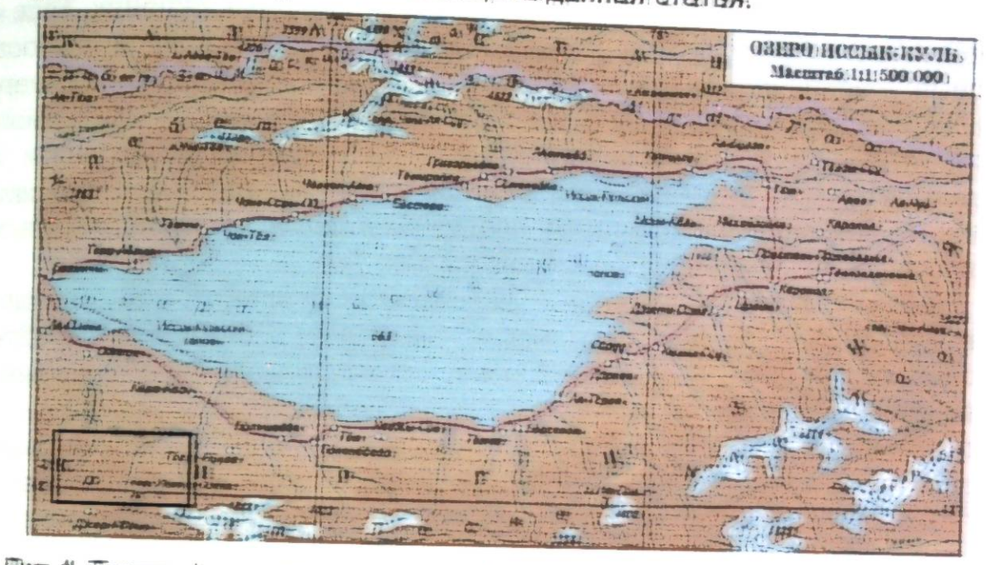


Рис. 1. Топографическая карта Иссык-Кульской впадины. Алабаш-Конуролёнгская впадина находится на юго-западе котловины (исследованный участок выделен черным прямоугольником).

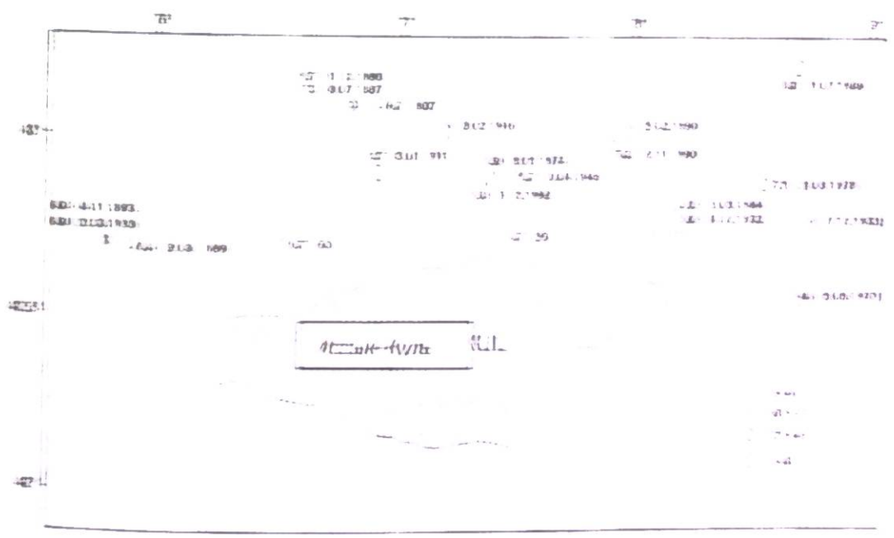


Рис. 2. Сильная сейсмичность в Прииссыккулье ($M \geq 5.5$). Практически все эпицентры сильных землетрясений сосредоточены к северу от озерной ванны.

Полученные результаты

Полевые исследования

Нами была исследована Алабаш-Конгурлёнгская внутригорная впадина, которая находится на юго-западе Иссык-Кульской котловины (рис. 1)). С юга внутригорная впадина обрамляется хребтом Терскей Ала-Тоо, а с севера – его предгорьем – Коконадыр-Тегерекским поднятием.

Источником воды в долине является Терскейский хребет с его реками и ручьями, берущими начало на его северных склонах. Еще в неогене все эти воды намывали свои собственные конуса выноса, которые, соединившись, образовывали пологую, наклонную к северу аллювиально-пролювиальную равнину, простиравшуюся до самого Иссык-Куля. Однако в начале четвертичного периода, в связи с продолжающимся сокращением земной коры вследствие коллизии Индии и Евразии, бывшие участки осадконакопления стали вовлекаться в поднятие, формируя предгорья Терскей Ала-Тоо.

Реки северного склона Терскейского хребта в начале четвертичного периода еще могли прорезать растущие хребты Коконадыр и Тегерек, но в связи с очень интенсивными – импульсными подвижками по адырным разломам сейчас собирают все свои воды в одном месте и несут их через антецедентный участок долины реки Актерек – единственную водную брешь для всей Алабаш-Конгурлёнгской долины. Остатки поднятых и брошенных речных русел – так называемые «ветровые бреши» наблюдаются в разных местах Коконадыр-Тегерекского поднятия. Наиболее впечатляющей ветровой брешью через адырный хребет является перевал Дувана. Еще в среднем плейстоцене здесь протекала горная река, но, в связи с интенсивным тектоническим поднятием хребтов Коконадыр и Тегерек часть бывшего русла реки, в то время «водная брешь» превратилась в брошенную долину – «ветровую брешь».

Особенности тектонических движений

Традиционно считается, что горы формируются как импульсными подвижками во время сильных землетрясений, так и медленными тектоническими движениями – так называемым криппом. В качестве доказательства последних приводят данные космической геодезии – GPS, которые, например, сообщают о постепенном сокращении земной коры Тянь-Шаня до 2 см в год. По идее, это сокращение и приводит к постепенному же росту гор и их предгорий. Однако, похоже, что это не так: скорее всего, рост гор в Тянь-Шане происходит во время редких (раз в сотни-тысячи лет) сильных сейсмических событий. Так, например, во время Кеминского землетрясения 1911 г. (Ms = 8.2; Io = X-XI баллов) в Северном Прииссыккулье вертикальная компонента образовавшегося во время этого события сейсмоуступа достигала 10-12 м!

По всей видимости, таким же образом формировалось горное обрамление Алабаш-Конгуролёнгской впадины. Значительный рост Коконадыр-Тегерекского поднятия по одноименному разлому был импульсным. Об этом свидетельствуют вышеупомянутые ветровые бреши в водораздельной части поднятия, а также 20-км сейсмоуступ (рис. 3) вдоль его подножия и заболоченное пространство (бывшее значительным озером еще до середины XX-го в.) в северной части впадины – перед горным фронтом адырного поднятия.



Рис. 3. Сейсмоуступ вдоль южного подножья гор Дувана в центральной части Алабаш-Конгурлёнгской впадны. Дама в шляпе стоит у тылового шва уступа, двое мужчин – у бровки эскарпа. Вид на запад

Палеосейсмологические исследования в Алабаш-Конгуроленгской впадине начались в 2013 г. Нам удалось выявить выходы молодых сейсмических очагов на поверхность – сейсмоуступы, которые нарушали археологические памятники позднего голоцена. Мы предприняли попытки определить магнитуду и возраст сильных землетрясений в западной части впадины. Однако, из-за скудности органического материала в пройденных нами горных выработках, пока не удалось точно определить возраст последнего сильного землетрясения во впадине. В связи с тем, что сейсмоуступ деформировал курганы сако-усуньского возраста (VII в. до н.э.–V в. н.э.) и средневековые(?) «длинные» каменные стены, мы предположили, что последнее сильное сейсмическое событие во впадине произошло уже после их строительства - в XVI в. н.э. Этот вывод повторял наше раннее предположение о возрасте последнего сильного землетрясения в Каджи-Сазской впадине, расположенной к востоку.

Исследования в Алабаш-Конгурлёнгской впадине продолжились в 2016-2017 гг. Нам удалось выявить странное субширотное понижение (рис. 4) в наклонной пролювиальной равнине, образованной

слившимися конусами выноса с гор Дувана. Ничего подобного нам не приходилось видеть ни в Тянь-Шане, ни в других горных сооружениях мира. Первое впечатление от увиденного: огромная змея (или огромный дракон) проползла вдоль южного склона гор Дувана (Коконадыр-Тегерекское поднятие) и оставила свой след.

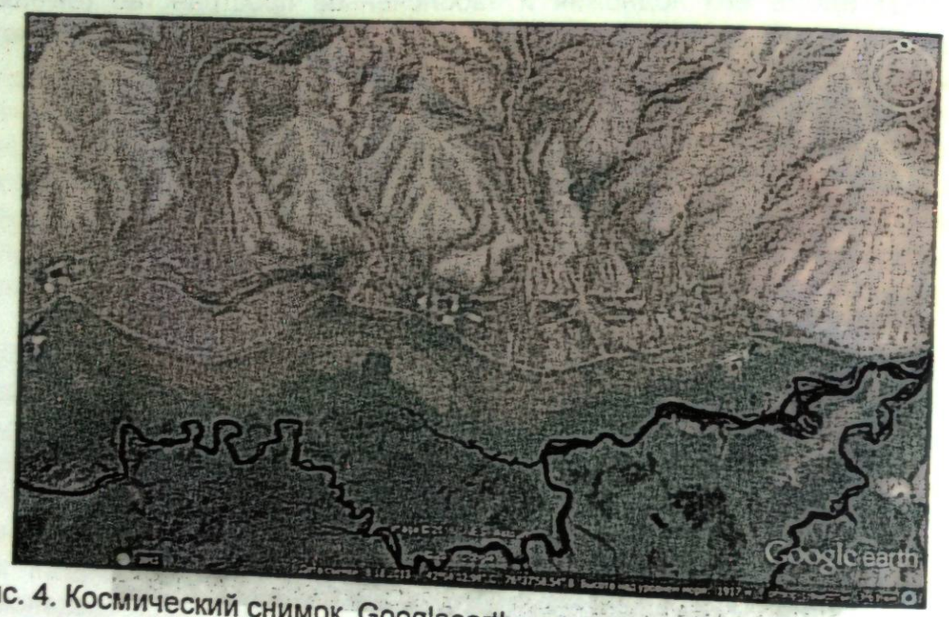


Рис. 4. Космический снимок Googleearth, на котором виден «след хвоста огромного дракона». Вверху снимка (на севере) – горы Дувана – составляющие Коконадыр-Тегерекского адырного поднятия. Внизу (на юге) меандры реки Карасу.

Полевые исследования показали, что это сложный, ступенчатый грабен, который находится в тылу надвига (рис. 5). Как и в других местах Прииссыккулья, тектонические движения по адырным разломам перешли от собственно зоны контакта палеозойских пород предгорного хребта и четвертичных отложений внутригорной впадины вглубь территории тектонической депрессии. Здесь продолжаются те же процессы только в меньшем масштабе: в связи с продолжающимся сокращением земной коры Тянь-Шаня, бывшие территории впадин – участки осадконакопления, превращаются в поднятия и начинаются служить источником денудации. Мы прошли траншеями как фронтальную зону сейсмоуступа (рис. 6), так и нижний сегмент грабена. Эскарп, высотой в 1.5 м обязан своим происхождением одноактной сейсмогенной подвижке. Наличие нескольких плоскостей разрыва в траншее не должно смущать читателя. Это так называемая «цветковая структура»: от одного магистрального разрыва на глубине вверх по разрезу раскрывается серия разрывов меньшего масштаба или трещин.

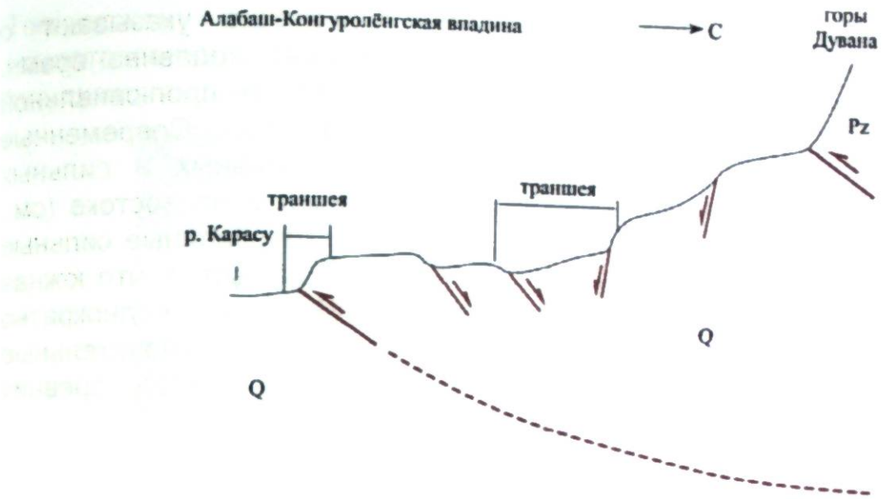


Рис. 5. Структурное положение разрывов перед Коконадыр-Тегерекским надвигом. Схематическая зарисовка зоны адырного надвига. От главной надвиговой плоскости на севере ответвляется новая, дополнительная плоскость, которая рвет пролювиальные отложения слившихся конусов выноса гор Дувана. В тылу молодого надвига – сейсмоуступа образовался ступенчатый грабен.

О том, что все разрывы сейсмоуступа у подножия гор Дувана относятся к одному – последнему землетрясению, говорит и факт распространения их всех вверх - вплоть до современного почвенного слоя.

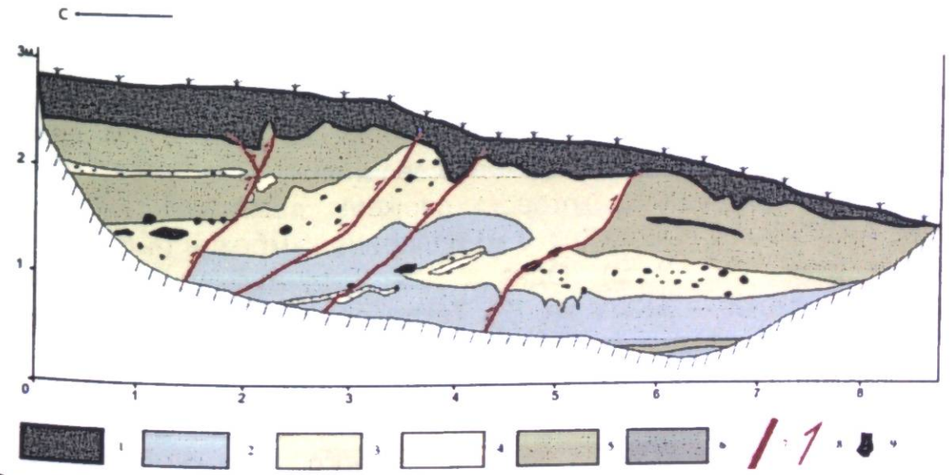


Рис. 6. Траншея, пройденная через фронтальную часть сейсмоуступа у южного подножья гор Дувана (Коконадыр-Тегерекское поднятие). 1 — почвы и палеопочвы, 2 — глины, 3 — суглинки, 4 — супеси, 5 — пески, 6 — пролювий, 7 — разрывы, 8 — направление смещения, 9 — неокатанная галька (граниты).

Все вышеприведенные материалы однозначно указывают о проявлении сильной сейсмичности в относительно недавнее время: сейсмоуступ и ступенчатый грабен образовались в пролювиальной равнине позднеплейстоцен-голоценового возраста. Современные сейсмические каталоги показывают очаги значительных и сильных землетрясений лишь к северу от озера Иссык-Куль и на востоке (см., рис. 2). Современные – инструментально зарегистрированные сильные землетрясения на юге котловины не известны. Получается, что южная часть Иссык-кульской впадины асейсмична? Мы уже неоднократно указывали, что это не так: здесь нами обнаружены значительные сейсмодислокации и прежде всего сейсмоуступы – выходы древних сейсмических очагов на поверхность.

Деформации в средневековых кумбезах

Кумбезы (надмогильные памятники) долины Конгур-Оленг находятся на территории кладбища восточнее одноименного села. Здесь имеются 3 кумбеза купольного типа и несколько прямоугольных. Возраст этих памятников точно неизвестен, есть данные лишь о том, что огромные кумбезы были восстановлены в конце XIX в., но остается неизвестным, кому и когда они были установлены [2]. Состояние памятников удовлетворительное, однако, купол у одного кумбеза полуразрушен.

Учитывая, что кумбезы ремонтировались в XIX в., значит, они к этому времени находились в неудовлетворительном состоянии. Таким образом, памятники простояли еще несколько веков до ремонта. Из этого следует вывод, что кумбезы не были построены современными киргизами, они были возведены еще ранее.

Лишь одно сооружение в Иссык-Кульской котловине напоминает описываемые памятники, это кумбез Тору-Айгыр, расположенный на левой надпойменной террасе одноименной реки, в 5 км севернее главной трассы «Балыкчи-Каракол северная». Совпадает и стиль строений, и материал из которого сложены памятники, – сырцовый кирпич. Аналогичны высота (ок. 3 м) и ширина кумбезов (4-5 м), а также толщина стен (0.8-1.3 м). Однако для Тору-Айгырского памятника возраст определен – XI-XIV вв. [2]. Таким образом, и Конур-Оленгские кумбезы должны иметь аналогичный возраст.

Внимательный осмотр Конур-Оленгских памятников показал, что, не смотря на ремонт, в них сохранились и видны следы древних повреждений. Так, в СЗ колонне одного из кумбезов видны систематические косые сколы и срезы (рис. 8). Также, не смотря на попытки заделать зияния между купольной и фронтальной частями всех памятников, эти раскрытия снова проявляются через полтора-два века после ремонта (рис. 9). Все фронтальные части кумбезов отделались и слегка наклонились к северу – к горам Коконадыр-Тегерек, к Коконадыр-

Тегерекскому разлому - поддвигу. Возможно, это произошло при землетрясении, во время которого имела место сейсмическая активизация вдоль упомянутого выше разлома.

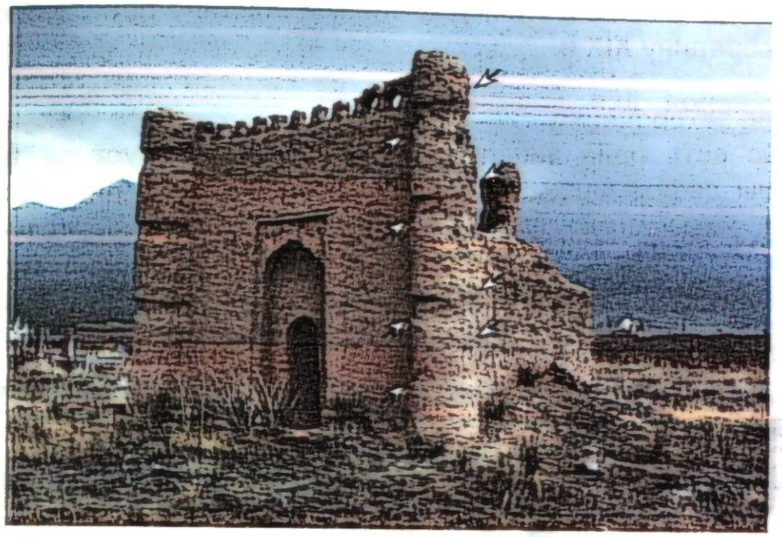


Рис. 8. Систематические наклонные срезы в СЗ колонне одного из надмогильных памятников села Конур-Оленг – следы древних повреждений.

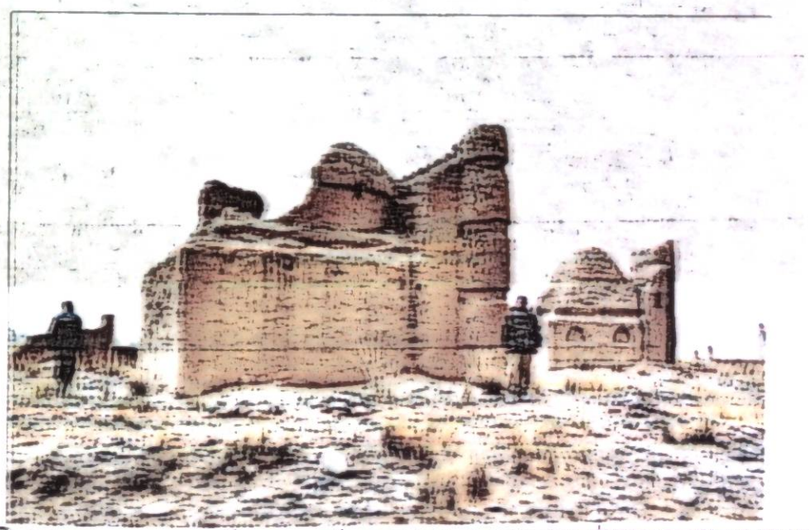


Рис. 9. Отделение и небольшой наклон к северу фронтальных частей всех древних кумбезов Конур-Оленга к северу – к Коконадыр-Тегерекскому разлому.

Наклон фронтальных стен мазаров к северу совсем небольшой – первые градусы, нам приходилось наблюдать и большие наклоны во время наших археосейсмологических работ на Тянь-Шане, а также на Ближнем Востоке, Крыму и в Закавказье. Возможно, что южные

купольные конструкции не дали фронтальным стенам наклониться на юг под более значительным углом или обрушиться в том же направлении. Из приведенных выше данных следует вывод, что сильное землетрясение в Алабаш-Конгуролёнгской впадине произошло в период с XI в. по середину XIX в.

Калмыкские захоронения

У нас есть одна зацепка: во фронте сейсмоуступа нами были обнаружены деформированные каменные выкладки (рис. 10), которые, имеют так называемый «калмыкский» возраст. Ясно, что на склоне уступа никто хоронить не будет – неудобно, да и плоских, горизонтальных территорий вокруг немало. Следовательно, сейсмоуступ образовался уже после погребения и его возраст моложе захоронений.



Рис. 10. Каменные выкладки на «калмакских» (калмыкских) могилах, деформированные во фронте сейсмоуступа. Вид на север. На дальнем плане виден хребет Дувана – составляющий Коконадыр-Тегереское сдырное поднятие. Дама стоит на бровке эскарпа.

Когда же здесь были калмыки (джунгары или«калмаки», как их называют киргизы)? В 1771 году большая часть волжских калмыков из междуречья Волги и Жаика (Урала) решила переселиться - возвратиться в Восточную Джунгарию [1]. Их путь длиной более трех тысяч километров пролегал, в частности, по территории современного Казахстана и Киргизии от реки Джаик (Урал) до китайской границы. 170 тысяч калмыков вышли в так называемый «Пыльный поход». Они встретили ожесточенное сопротивление казахов и киргизов, которые помнили еще безжалостный и победоносный проход калмыков в конце

XVI - начале XVII веков к устью Волги. На пути назад лишь около 10% от первоначального количества поднявшихся на перекочевку сумело вернуться на родину предков. Остальные погибли или были захвачены в плен на территории так называемого Семиречья и Прииссыккулья. Именно поэтому на указанной территории повсюду разбросаны простые могилы калмыков: небольшая кучка камней над погребенным или погребенными. Одна из таких могил, по словам местного жителя Омурбека Абдукадырова из села Дёнгтала, была размыта селевым паводком и его взору, а также взглядам односельчан представилась ужасная картина: в ней было несколько скелетов в вертикальном положении. Еще живых пленников заталкивали вплотную в узкий вертикальный, наспех вырытый ими же шурф и закидывали землей и камнями… Таким образом, сейсмоуступ образовался после 1771 г.

Заключение

Приведенные выше материалы в ЮВ Прииссыккулье говорят о том, что в конце XVIII - начале XIX вв. имело место сильное землетрясение, не известное до сих пор местным сейсмологам. Это землетрясение образовало, наростило сейсмоуступ по северному горному обрамлению Алабаш-Конуролёнгской впадины, разрушило крепость на перевале Алабаш и разрушило или сильно повредило средневековые кумбезы, близ села Конгур-Олёнг. Его магнитуда была не менее $M \geq 7$, а интенсивность сейсмических колебаний $Io \geq IX$ баллов.

Работы были выполнены при финансовой поддержке гранта ISTCNo. G-2153 (С.В.А.), средств ИФЗ РАН (А.А.С.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуковская Н. Л. Калмыки // Народы и религии мира: Энциклопедия / Гл. ред. В. А. Тишков. Редкол.: О. Ю. Артемова, С. А. Арутюнов, А. Н. Кожановский, В. М. Макаревич (зам. гл. ред.), В. А. Попов, П. И. Пучков (зам. гл. ред.), Г. Ю. Ситнянский.. — М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. — 928 с.

2. Улеманн К., Д.Ф. Винник, К.Ы. Ысманова. Кумбезы долины Конур-Олон. В кн.: Биосферная территория Ысык-Кёль. Культурно-исторические памятники. Бишкек: Изд-во GTZ, 2003, 88 с.

УДК 550.3

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО ПАМЯТНИКА НЕАПОЛЬ - СКИФСКИЙ, КРЫМ

А.М. Корженков, А.Н. Овсюченко, А.С. Ларьков
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

С использованием кинематических индикаторов нам удалось выявить сейсмические деформации в руинах древнего города Неаполь-Скифский в Крыму. Город был разрушен землетрясением с местной сейсмической интенсивностью 7-8 баллов, вследствие подвижек по близ расположенной сейсмогенерирующей зоне по всей видимости в 3 веке н.э.

Ключевые слова: археосейсмология, сейсмические деформации, кинематические индикаторы, древние землетрясения, Неаполь - Скифский, Крым

SEISMIC DEFORMATIONS IN BUILDING CONSTRUCTIONS OF SCYTHIAN - NAPLES ARCHEOLOGICAL MONUMENT, CRIMEA

A.M. Korzhenkov, A.N. Ovsyuchenko, A.S. Lar'kov
O.Yu. Schmidt Institute of Physics of the Earth, RAS, Moscow, Russia

With the use of kinematic indicators, we were able to identify seismic deformations in the ruins of the ancient city of Naples-Scythian in the Crimea. The city was destroyed by an earthquake with a local seismic intensity of 7-8 points, due to movements in a nearby seismic generating zone, apparently in the 3rd century AD.

Key words: archeo seismology, seismic deformations, kinematic indicators, ancient earthquakes, Scythian Naples, Crimea

Введение

Повреждения, наблюдаемые в древних руинах, могут быть вызваны нижеследующими процессами, такими как результат плохой строительной технологии, выветривание с течением времени (статическое повреждение), разрушения вражескими армиями, или результат землетрясений. Распознание сейсмической природы повреждений посредством преимущественно ориентированного

обрушения строительных элементов является обычным методом, применяемым в археологии. Данное сообщение адресует потенциальное использование особенностей разрушений, наблюдаемых в древних (так же как и в современных) руинах как количественный инструмент для решения трех главных задач: а – продление сейсмической летописи на временной интервал в тысячи лет, б – локация эпицентров методом независимым от сейсмической сети и дополняющим ее, в – идентификация зон с сейсмически наведенной деформацией сжатия и растяжения.

Особенности сейсмических повреждений, примененные в данном исследовании к археологическому памятнику, были предварительно прокалиброваны нами при исследовании сильных Кочкор-Атинского, Суусамырского (оба в 1992 г.) и Кочкорского (2006 г.) землетрясений в Киргизии [2], а затем использованы нами при археосейсмологических исследованиях в Армении, Германии, Грузии, Израиле, Иордании, Казахстане, Кыргызстане и России.

Неаполь Скифский — древний город, одна из скифских царских крепостей в Крыму, столица позднескифского государства (III век до н. э. — III век н. э.). Упоминается в херсонесском декрете II века до н. э. и в «Географии» Страбона. Большинство исследователей идентифицирует Неаполь Скифский с крупнейшим в Крыму скифским городищем (площадью 20 га), которое располагается на территории нынешнего Симферополя (на невысоком платообразном возвышении Петровские скалы, на территории уже не существующей деревеньки Керменчик). Точное время основания города неизвестно. Наибольшего расцвета он достиг во II веке до н. э. Считается, что город прекратил своё существование после нашествия готов (III век н. э.), однако он упоминается в качестве действующего города в описаниях походов Святослава Киевского (X век н. э.).

Методология исследований

Важность изучения исторически задокументированных землетрясений была давно признана, но их изучение носит скорее качественный характер. Однако древние хорошо сконструированные здания могут рассматриваться как окаменевшие или замороженные сейсмометры. Археологические раскопки разгадывают события сейсмических разрушений, которые могут быть датированы археологическими находками, изредка сопровождаемыми исторической документацией. Систематическая ориентация сейсмических разрушений в древних зданиях позволяет создать банк данных для оценки интенсивности палео - землетрясений и для реконструкции направления распространения сейсмической волны.

Особенности разрушений зданий наблюдались и исследовались многократно по всему миру, но данные по их ориентировке по отношению к эпицентру можно встретить лишь в нескольких сообщениях. Особенности разрушений систематически использовались как независимые индикаторы для определения местоположения эпицентра Суусамырского землетрясения (1992; M_s = 7,3; I_o = IX–X), произошедшего в горах Тянь-Шаня Кыргызской Республики. Было найдено, что преимущественная ориентация особенностей деформации находится в соответствии с локальным направлением распространения сейсмической волны, записанной сетью сейсмических станций [2].

Направление обрушения или наклона элементов зданий может быть или по направлению к эпицентру, или от него. Если пораженное место находится в квадранте деформации сжатия, деформация будет вызвана толкающими движениями, приложенными к грунту, приводя к наклону или обрушению в сторону эпицентра. Наоборот, в местах расположенных в квадранте растяжения, деформация производится дергающими движениями, вызывая наклон и обрушение от эпицентра. В любом случае, линия обрушения может быть определена. Эта линия соединяет первоначальную позицию объекта и его положение после землетрясения или соответствует азимуту падения наклоненного элемента. Точки пересечения линий обрушения, замеренные во многих местах, сойдутся в области эпицентра.

Повернутые блоки, кирпичи, камни или постаменты колонн часто наблюдаются в сейсмически пораженной области. Вращение вызывается сдвиговой парой сил, приложенной к плоскому элементу конструкции. Сейсмическая волна, подходящая к зданию параллельно или перпендикулярно к его стенам, приведет к обрушению, смещению или наклону без вращения. Вращение будет иметь место в случаях, где главные напряжения приложены под углом к элементу конструкции и результирующие сдвиговые напряжения высоки. Таким образом, развернутые элементы, находящиеся на перпендикулярно ориентированных стенах, должны иметь противоположное направление вращения, если сейсмический толчок прошел вдоль биссектрисы между двумя стенами.

В геологии известны два механизма вращения, вызванные тектоническими движениями: a – структуры типа книжной полки (book-shelfstructures) или блоки повернутые синтетически (synthetically) и b –асимметричные структуры, растянутые в стороны (pull-aparts) или антитетически (antithetically) повернутые блоки (Jordan, 1991). Одинаковое направление вращения может быть получено посредством различных типов напряжений. Эти повернутые блоки названы "антитетическими" или "синтетическими", потому что по отношению к паре сил простого сдвига возможны два направления вращения. Синтетическая структура сформирована как результат сжатия

действующего параллельно длинной оси элемента, в то время как антитетическая структура развивается, когда растяжение параллельно вытянутому элементу. Таким образом, в тектонике интерпретация структур вращения должна быть предварена определением деформации, которая имела место вдоль повернутого элемента. Подобная двусмысленность не существует в сейсмической интерпретации. Любое латеральное растяжение, приложенное к конструкции, должно привести к ее обрушению или наклону, в то время как вращение может иметь место только в условиях горизонтального сжатия. Это обеспечивает дополнительный критерий для определения деформации, сопровождающей землетрясение: появление повернутых блоков является указанием толкающих (push) движений. Схема, показывающая направление вращения в отношении направления распространения сейсмической волны.

Это обсуждение ведет к дополнительному заключению, объясняющему отсутствие ориентированных наклонов и обрушений в эпицентральной области: ударная волна, движущаяся от гипоцентра под высоким углом к поверхности, приводит к латеральному растяжению, приложенному к строительным конструкциям. Этот факт объясняет, почему в известных современных землетрясениях (Акапулько, 1962; Скопле, 1963; Ташкент, 1966 и др.) области над гипоцентром не показывают систематических наклонов и обрушений, в то время как на некотором расстоянии наклоны и обрушения имеют выраженные направленные образцы.

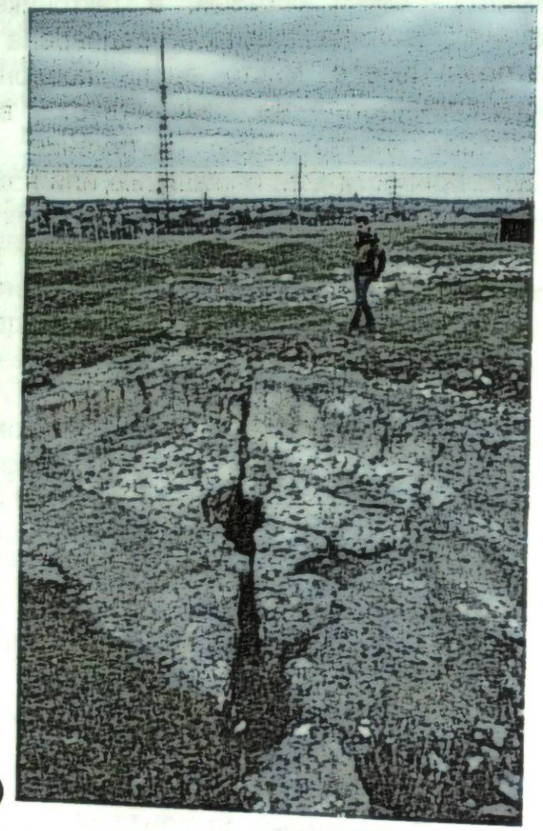
Полученные результаты

Нами были проведены археосейсмологические исследования на территории раскопанной части древнего города Неаполь-Скифский. Был выявлен комплекс деформаций как в постройках древнего города, так и в скальных грунтах, на которых были построены сооружения.

- Прежде всего, следует отметить раскопки Мавзолея Аргота (ок. 125 г. до н.э.) вероятного основателя крепости в Неаполе Скифском. При раскопках археологами было вынуто все, что заполняло древний котлован при строительстве надмогильного сооружения. В настоящее время видно, что днище котлована сечет разрыв (рис. 1) со следами смещения (бороздами скольжения). Важно отметить, что стенки котлована не смещены по разлому, то есть, последнее смещение по нему произошло до строительства мавзолея.

- Деформация дна – плит выстилающих дно ритуального бассейна в северной части раскопанного городища. Скифы не отличались высококачественным строительством (сообщение сотрудников музея Неаполя Скифского), однако трудно себе представить, что ритуальный

бассейн был выстроен столь небрежно. Наиболее вероятна их последующая (после строительства) деформация.



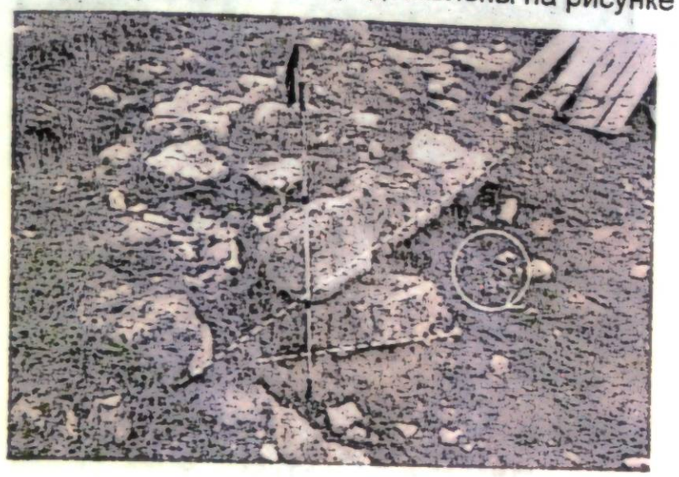
а)



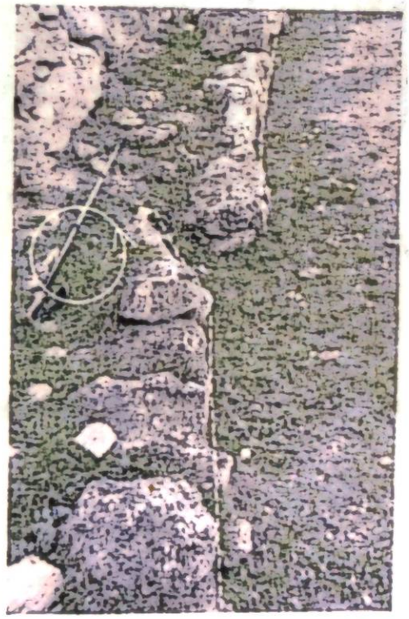
б)

Рис. 1. Раскопанный котлован мавзолея Аргота с секущим его разломом – левым сдвигом (а). О лево-сдвиговой компоненте подвижек говорят субгоризонтальные борозды скольжения (б) и pull-apartgraben вдоль линии разрыва (а)

- Вращения фрагментов стен представлены на рисунке 2.



а)



б)

Рис. 2. Вращения рядов каменной кладки в Неаполе скифском.
(а) Поворот нижнего слоя каменной кладки на 20° по часовой стрелке относительно верхнего субширотного слоя кладки. Недавние раскопки Дома «шамана» в северной части раскопанной части города Неаполь скифский.
(б) Разрыв и разворот нижнего сохранившегося ряда кладки против часовой стрелки на 20° в субширотной стене одного из помещений к востоку от «современной» башни. Длина трековой палки 125 см.

- деформация скелета скифского царя Скилура, жившего во II в. до н.э. (рис. 3) произошла, по всей видимости, много позже самого захоронения.



Рис. 3. Археологическая зарисовка в гробнице, где видно смещенное положение скелета царя Скилура, найденного там при раскопках. Смещение черепа к северу произошло много позже захоронения.

Выводы

Нахождение разрыва со смещением на территории Неаполя Скифского, а также значительные развороты фрагментов стен однозначного указывают на сейсмогенный характер разрушений и повреждения в древнем городище. Эпицентральная зона, возможно, располагалась неподалеку от Неаполя, так как в котловане мы видим оперяющий разрыв главного разлома. Местная сейсмическая интенсивность древнего землетрясения(й) была VII ≤ I ≤ VIII, учитывая низкое качество строительства у скифов. Точный возраст землетрясения предстоит определить совместно с местными археологами. Скорее всего, город был разрушен в 3 веке н.э., после чего эта территория была захвачена готами.

Обсуждаемые результаты чрезвычайно важны тем, что впервые были получены параметризованные свидетельства сильных землетрясений в Северо-Крымской сейсмогенерирующей зоне. Она выделяется по косвенным данным о глубинном строении и распределении сейсмогравитационных образований вдоль глубинного разлома, разделяющего Скифскую плиту и альпийское сооружение Горного Крыма. Разлом трассируется по геофизическим и буровым данным под платформенными слабодислоцированными отложениями верхнего мела – кайнозоя [3]. Вдоль упомянутого глубинного разлома вытянута широкая полоса сейсмогенных обвалов и гигантских оползней [1]. Они приурочены к высоким обрывам прочных пород куэстовой моноклинали Горного Крыма и обусловлены благоприятными геоморфологическими и литологическими условиями, в связи с чем их сейсмогенное происхождение остается под вопросом. Сейсмотектонические разрывы голоценового возраста в этой полосе до сих пор не выявлены. Однако, сейсмогенные повреждения наблюдаемые в руинах Неаполя Скифского, с большой долей вероятности свидетельствуют о том, что в историческое время землетрясения здесь все же случались.

Исследования в Неаполе-Скифском были проведены при поддержке грантов РФФИ № 15-05-06197, 18-05-01004, 18-35-00521.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисенко Л.С., Пустовитенко Б.Г., Дублянский В.Н., Вахрушев Б.А., Клюкин А.А., Ена А.В., Китин М.А. Сейсмодислокации и палеосейсмичность Крыма. // Сейсмологический бюллетень Украины за 1997 год. Симферополь: Изд.-во ИГ НАНУ. 1999. С. 101-132.
2. Корженков А.М. Сейсмогеология Тянь-Шаня. Бишкек: Илим, 2006, 290 с.
3. Юдин В.В. Геодинамика Крыма. Симферополь: ДИАЙПИ. 2011. 336 с.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ
Выпуск тридцать третий (3), 2018 г.

УДК: 550.510.535, 551.521

ИОНОСФЕРНЫЕ АНОМАЛИИ И ВАРИАЦИИ ПОТОКА ГАММА-КВАНТОВ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ НАКАНУНЕ И ВО ВРЕМЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2015Г М5.1 ВБЛИЗИ Г.АЛМАТЫ

Салихов Н.М., Пак Г.Д.
ДТОО "Институт ионосферы" АО "НЦКИТ", Алматы, Казахстан

Выполнен анализ данных спутника Swarm-C, доплеровского сдвига частоты ионосферного сигнала и вариаций потока гамма-квантов в приземной атмосфере до и во время землетрясения 15 марта 2015 г. Mb=5.1 вблизи г. Алматы. За пять дней до землетрясения наблюдался минимум в снижении электронной концентрации ионосферы и снижении интенсивности потока гамма-квантов в приземной атмосфере. Во время землетрясения обнаружен необычный эффект появления высокочастотной составляющей в вариациях доплеровского сдвига частоты ионосферного сигнала.

Ключевые слова: землетрясение, ионосфера, доплеровский сдвиг частоты, Swarm-C, поток гамма-квантов.

IONOSPHERIC ANOMALIES AND VARIATIONS OF BACKGROUND GAMMA RAY PRIOR TO AND AT THE TIME OF THE M5.1 EARTHQUAKE 15 MARCH 2015 NEAR ALMATY

Salikhov N.M., Pak G.D.
Institute of ionosphere of JSC NCSRT, Almaty, Kazakhstan

The data of Swarm-C satellite, Doppler frequency shift (DFS) and variations of gamma ray in background atmosphere prior to and at the time of the M5.1 earthquake occurred on 15 March 2015, with the epicenter near Almaty, were analyzed. The minimum values in decreasing of electron concentration in ionosphere and in decreasing of gamma-ray intensity in the background atmosphere were recorded five days before the earthquake. Next, the electron concentration of ionosphere increased day by day until the day of earthquake. The appearance of an unusual effect of a high-frequency component in the variations of the Doppler frequency shift of the ionospheric signal was observed.

Key words: earthquake, ionosphere, Doppler frequency shift, Swarm-C, gamma-ray flux

Введение

Согласно оперативным данным Центра данных РГП ИГИ 15 марта 2015 года в 14 часов 01 минуту по Гринвичу в 30 км на юг от г.Алматы, произошло землетрясение, с магнитудой Mb=5,1 энергетический класс K=11,4, на глубине 5 км. Координаты эпицентра: 42.92°СШ 76.89°ВД. Землетрясение ощущалось в городе Алматы с интенсивностью 4 балла (www.kndc.kz). По данным оперативного каталога землетрясений СОМЭ (www.some.kz) магнитуда землетрясения MPVA=5.2, энергетический класс K=11,9, гипоцентр 20 км. Координаты эпицентра: 42.95°СШ 76.92°ВД. Географическое расположение эпицентра землетрясения - район Кунгей Алатау вблизи эпицентра катастрофического Кеминского землетрясения 1911г магнитудой M=8,2. На фрагменте карты сейсмического районирования территории Кыргызской Республики (http://www.seismo.kg) показано местоположение эпицентра землетрясения 15 марта 2015г относительно очага Кеминского землетрясения 1911 г (рисунок 1).

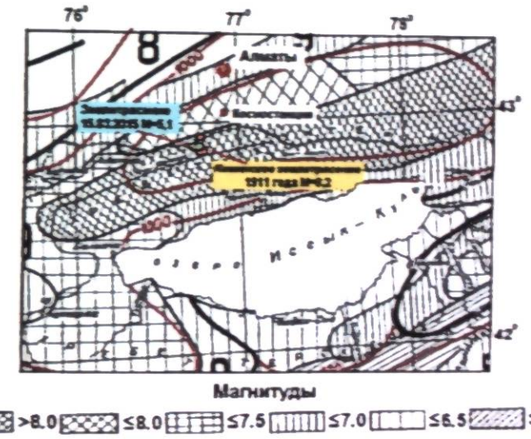


Рис.1 – Местоположение эпицентров землетрясений 15.03.2015 (M=5,1) и катастрофического Кеминского землетрясения 1911 года (M=8,2) на фрагменте карты сейсмического районирования территории Кыргызской Республики.

На карте видно, что эпицентры указанных землетрясений находятся очень близко друг от друга - на расстоянии всего 2,4/5,8 км (по данным: www.kndc.kz / www.some.kz). За последние 26 лет в радиусе 30 км от Кеминского очага произошло 2 землетрясения с магнитудой Mb=5,1 и Mb=5,2 и более 7-ми слабых землетрясений с магнитудой Mb≥4,3 (http://www.ceme.gsras.ru/). Возле г.Алматы находятся очаги еще 2-х катастрофических землетрясений – Верненского 1889г и Чиликского 1891г.

Очаги катастрофических землетрясений, расположенные вблизи мегаполисов и густонаселенных пунктов, представляют особую опасность, а потому требуют постоянного наблюдения. В последние

десятилетия отмечается возросший интерес к исследованиям возникновения аномальных явлений в ионосфере, предшествующих крупным землетрясениям, как возможным предвестникам землетрясений [1-5]. Показано [6], что перед крупными землетрясениями могут возникать характерные перемещающиеся ионосферные возмущения электронной концентрации со горизонтальными размерами 1000 км и более, превышающие над фоном 15-30%. Трендом современных исследований литосферно-атмосферно-ионосферных связей является микропараметрический мониторинг, основанный на спутниковых и наземных методах наблюдений [7,8].

Результаты спутниковых измерений. На спутниках Swarm Европейского космического агентства установлены плазменные зонды для прямого измерения электронной концентрации ионосферы (Ne). Значения электронной концентрации записываются непрерывно с частотой 2 Гц. Изучение откликов землетрясений в ионосфере с использованием данных группировки спутников Swarm имеет определенные преимущества и недостатки. Основная проблема заключается в том, что траектория спутников Swarm крайне редко может проходить в момент землетрясения над его эпицентром. В основном спутник оказывается над эпицентром или вблизи его за несколько часов до или после землетрясения. Например, во время землетрясения, произошедшего 15.03.2015, спутник Swarm-C пролетал далеко от эпицентра землетрясения, находясь около северного полюса на 152 меридиане западной долготы. Поэтому при изучении откликов землетрясений приходится ориентироваться на поиск долговременных эффектов в ионосфере, возникающих накануне и во время землетрясения.

Данные измерений электронной концентрации взяты с FTP сервера Swarm (ftp://swarm-diss.eo.esa.int). Данные отбирались с помощью специально написанной программы, позволяющей одновременно визуализировать вариации электронной концентрации, определять подспутниковые координаты и время подлета спутника к эпицентру землетрясения. Для анализа вариаций электронной концентрации ионосферы выбирали только те данные, которые были зарегистрированы спутником Swarm-C, когда он пролетал по меридиану на удалении не более чем 5,5 градусов от меридиана, проходящего над эпицентром землетрясения. Если в какой-либо день спутник пролетал на значительно большем удалении, то для анализа использовали значения Ne, полученные путем экстраполяции спутниковых данных при пролете по ближайшим меридианам на параллели 42,9°СШ. На рисунке 2 представлен график ежедневного изменения электронной концентрации ионосферы в момент пролета спутника Swarm-C над

эпицентром землетрясения на высоте 460 км (42,9°СШ 76,01°ВД). Анализ данных охватывает период с 11 по 21 марта 2015 года, т.е. за 155 дней до и 6 дней после землетрясения. На графике четко прослеживается минимум электронной концентрации в ионосфере, возникший за пять дней до землетрясения. Далее, приближаясь к дню землетрясения 15 марта, в ионосфере наблюдается рост Ne, достигший максимума 17 марта (что соответствует 76 дню по оси X). Возникает вопрос – являются ли такое возрастание электронной концентрации отражением процессов подготовки землетрясения в ионосфере или результатом действия других возмущающих факторов.

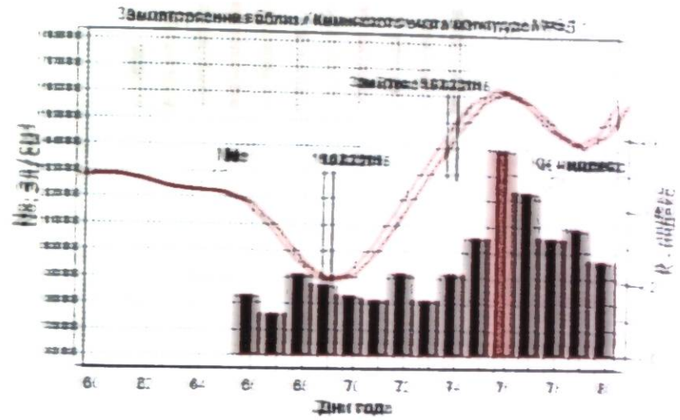


Рис.2 – Изменение электронной концентрации ионосферы (Ne) по данным спутника Swarm-C накануне, во время и после землетрясения 15 марта 2015 года M=5,1. Ход среднесуточного К-индекса с 7 по 21 марта 2015 года (www.ionas.kz).

Вертикальными линиями обозначены дата достижения минимума Ne и день землетрясения. По оси X – дни, начиная с 1 января 2015 года.

Одним из основных факторов, возмущающих ионосферу являются магнитные бури [9,10], поэтому при поиске сейсмогенных ионосферных эффектов необходимо специально выделять магнитовозмущенные дни. Для примера влияния геомагнитных бурь на фоновые вариации ДСЧ, мы приводим гистограммы осредненых за сутки трехчасовых значений локального К – индекса и осредненых по суткам динамических спектров мощности вариаций ДСЧ ионосферного сигнала с 83 по 93 день 2017 года (рис.3). В вариациях среднесуточных значений локального К-индекса и динамического спектра мощности ДСЧ ионосферного сигнала обнаружена высокая линейная связь с коэффициентом корреляции r =0,773.

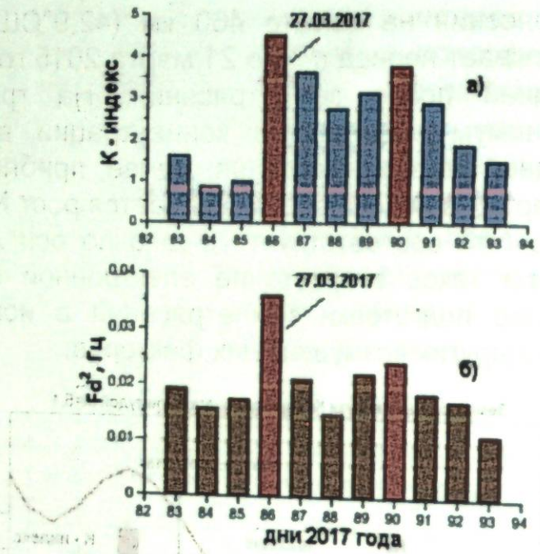


Рис.3 – Гистограмма среднесуточных значений локального К–индекса по данным геомагнитной обсерватории Института ионосферы (*www.ionas.kz*) (а) и гистограмма среднесуточных значений динамического спектра вариаций доплеровского сдвига частоты на слабонаклонной радиотрассе: Институт ионосферы – Радиополигон Орбита (б). По оси Х-дни, начало отсчета с 1 января 2017 года.

Анализ геомагнитной обстановки по изменению среднесуточного К-индекса день ото дня с 7 по 21 марта 2015г (рис.2) показывает, что до землетрясения и, что важно, в день землетрясения - 15 марта геомагнитное поле было спокойным, К-индекс не превышал трех. По-видимому, обнаруженное снижение электронной концентрации с минимумом за пять дней до основного толчка и последующее ее возрастание в ионосфере вплоть до дня землетрясения связано с процессами подготовки землетрясения. Дальнейший рост Ne, как видно на рисунке 2, обусловлен влиянием на ионосферу магнитной бури 17 марта (К-индекс более пяти).

Результаты наземных измерений. Одна из гипотез сопряжения литосферных-ионосферных процессов основана на эманации радона и его дочерних продуктов распада из горных пород и почвы [1] в период подготовки крупных землетрясений. Причем, увеличение или уменьшение эксхаляции (выхода из горного массива) радона зависит от условий сжатия или растяжения трещиновато-пористой среды горных пород [11]. Вариации радона приводят к изменению радиоактивности пограничного слоя атмосферы, что влечет за собой изменение в локальной области ионного тока, протекающего между ионосферой и землей и в свою очередь, может изменить зональное электрическое поле в ионосфере [12,13]. Как известно, прямые и непрерывные измерения вариаций радона в атмосфере являются технически

непростой задачей. Поэтому нами для оценки радиоактивности приземной атмосферы в реальном времени использовался метод регистрации гамма-квантов дочерних продуктов распада радона – 241Pb и 214Bi, находящихся с ним в состоянии радиоактивного равновесия. Регистрация гамма-квантов осуществлялась с помощью сцинтилляционного гамма-детектора в интервале энергий 50 – 1800 кэВ (БДЭГ2-39). Измерительный пункт находится в горной местности на научной станции «Космостанция» (h 3340м над ур.м.) на расстоянии ~14,3 км от эпицентра землетрясения. На рисунке 4 представлена запись вариаций гамма-квантов в приземной атмосфере. Видно, что за 5 дней до землетрясения произошло заметное снижение интенсивности потока гамма-квантов с достижением минимума 10 марта 2015, т.е., именно в тот же период времени, что и снижение электронной концентрации в ионосфере, зарегистрированное спутником Swarm-C. В день землетрясения наблюдался небольшой всплеск интенсивности гамма-квантов, превосходящий фоновые значения. Отметим, что атмосферных осадков, которые могли бы повлиять на интенсивность потока гамма-квантов, не наблюдалось.



Рис.4 – Вариации интенсивности потока гамма-квантов в приземной атмосфере на измерительном пункте «Космостанция» в 14.5 км от эпицентра землетрясения 15 марта 2015г. Вертикальными линиями обозначены день землетрясения и дата достижения минимума в вариациях потока гамма-квантов. По оси Х - дни, начиная с 1 января 2015 года.

Регистрация доплеровского сдвига частоты в ионосфере во время землетрясения 15 марта 2015г. На рисунке 5 представлена схема расположения эпицентра землетрясения относительно радиотрассы Красная Речка – Радиополигон Орбита. Расстояние от передатчика до приемника – 204 км. Расчет траектории радиоволн для радиочастоты 4010 кГц проведен компьютерной программой по модели IGRF12 для обыкновенной компоненты, учитывающей магнитное поле.



В результате расчета определена высота отражения радиоволны – 182,26 км, расстояние точки отражения от передатчика – 110,43 км. Расстояние от эпицентра землетрясения до проекции точки отражения радиоволны на Землю – 93,7 км, азимут - 262°. Расстояние от эпицентра землетрясения до точки отражения радиоволны – 184,22 км, азимут – 264,748°. Эпицентр землетрясения находился вблизи Радиополигона Орбита (на расстоянии 16,8 км). При таком расположении радиотрассы относительно очага землетрясения возникает возможность одновременной регистрации возмущений, связанных с сейсмической активностью от разных областей ионосферы.

15 марта в день землетрясения обнаружен необычный эффект в ионосфере в виде прихода дополнительных лучей меньшей амплитуды, которые образовали с большим (основным) по амплитуде лучом, отразившимся от высоты 182 км, интерференционные биения на входе радиоприемника доплеровской установки (рис. 6а). На графике, начиная с 14ч 05мин 52с GMT, хорошо видны биения лучей (более темный участок графика), которые возникли спустя 4мин 52с после землетрясения и продолжались около 200с. Расчет динамического спектра мощности вариаций ДСЧ показал, что наиболее выраженный отклик на землетрясение наблюдался в интервале частот 5-12 Гц (рис.6б). Отражение радиоволны с меньшей амплитудой произошло, по-видимому, при прохождении радиосигнала над очагом землетрясения. Согласно модели, предложенной [14,15], в нижней ионосфере на высотах 40-80 км могут образоваться дополнительные ионизированные слои за счет вытягивания металлических ионов из тропосферы в верхнюю атмосферу с помощью аномального электрического поля, формирующегося над зоной подготовки землетрясения.

Отметим, что возмущения в доплеровском сдвиге частоты ионосферного сигнала, связанные с подготовкой землетрясения, не обнаружены. В частности, это можно объяснить тем, что проекция на Землю точки отражения радиоволны находилась не под очагом землетрясения, а на удалении в 93,7 км в северо-восточном направлении вдоль радиотрассы Красная речка – Радиополигон Орбита.

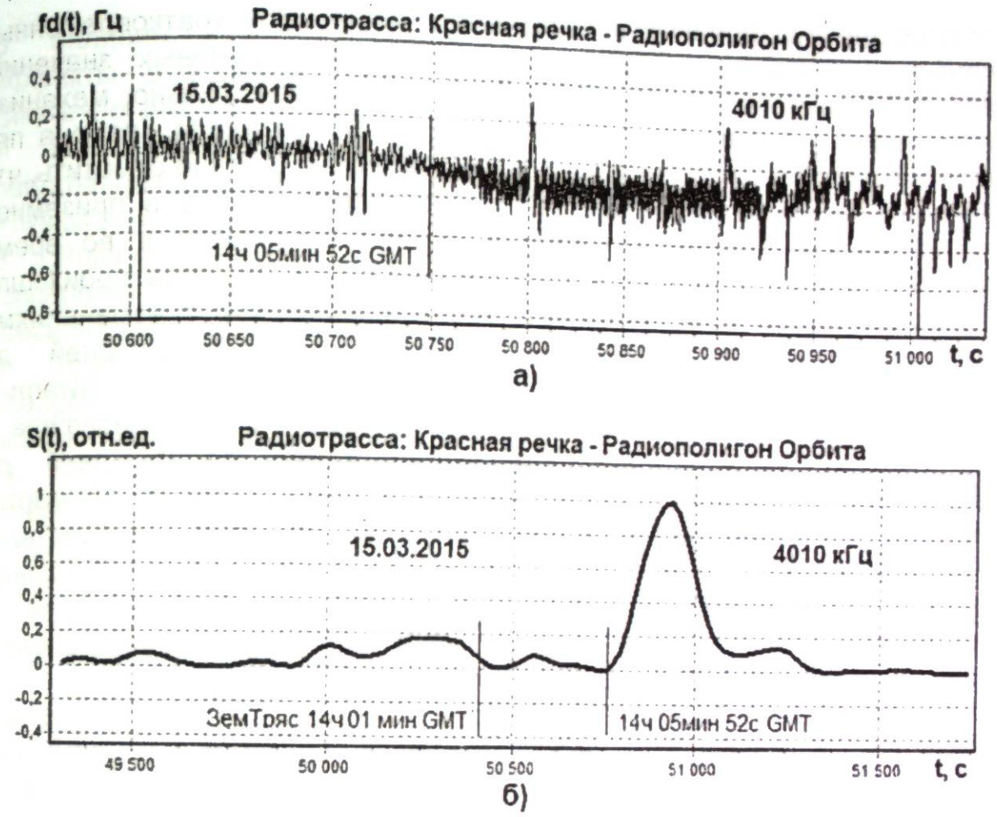


Рис. 6 - Отклик ионосферы в доплеровском сдвиге частоты на землетрясение 15 марта 2015 года. По оси X - время в секундах от начала суток 15.03.2015 по времени GMT.
Обозначения: а) - вариации доплеровского сдвига частоты; б) - изменение динамического спектра в интервале частот 5 – 12 Гц.

Заключение

Несмотря на большое количество работ, направленных на выявление прогностических аномалий в геофизических полях, связанных с процессами подготовки землетрясений, многие вопросы на сегодняшний день остаются открытыми. В данной работе выполнен анализ сейсмогенных врзмущений в ионосфере в подготовительную фазу и во время землетрясения 15 марта 2015г магнитудой М5,1, произошедшего вблизи очага Кеминского катастрофического землетрясения 1911г. Были использованы данные одновременной регистрации электронной концентрации ионосферы, полученные с Люгмеровского датчика спутника Swarm-C, доплеровского сдвига частоты ионосферного сигнала, а также потока гамма-квантов в приземной атмосфере. За 6-7 дней до землетрясения было зарегистрировано понижение интенсивности потока гамма-квантов в приземной атмосфере, которое достигло минимальных значений за 5 дней до сейсмического толчка. В дальнейшем наблюдался тренд к

восстановлению фоновых показателей и небольшой кратковременный всплеск интенсивности гамма-излучения (выше фоновых значений) непосредственно в день землетрясения. Предположительно, механизм этого явления может быть связан с вариациями выхода радона при деформациях земной коры перед землетрясением. Нужно отметить, что аналогичный характер изменений потока гамма-квантов в приземной атмосфере мы зарегистрировали в период подготовки и во время Капчагайского землетрясения магнитудой Mb=5,8, которое произошло вблизи г. Алматы в 2011 году [16,17]. Одновременно с изменениями гамма-излучения в приземной атмосфере за пять дней до землетрясения Ленгмюровский датчик спутника Swarm-C зарегистрировал снижение электронной концентрации в ионосфере с достижением минимальных показателей также за 5 дней до сейсмического толчка. Далее ближе к дате землетрясения (15 марта) электронная концентрация ионосферы день ото дня возрастала. Непосредственно в день землетрясения зарегистрировано повышение интенсивности потока гамма-квантов в приземной атмосфере и появление высокочастотной составляющей в вариациях доплеровского сдвига частоты сигнала, отраженного от ионосферы.

Накануне и во время землетрясения 15 марта 2015г в приземной атмосфере и ионосфере, зарегистрированы аномальные эффекты которые, по-видимому, являются отражением активизации сейсмических процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1 Pulinets S.A., Boyarchuk K.A. Ionospheric Precursors of Earthquakes. Berlin: Springer, 2004. 315 p.

2 Sharma, K., Dabas, R. S. Sarkar, S. K., Das, R. M., Ravindran, S. and Gwal, A. K., (2010). Anomalous enhancement of ionospheric F2 layer critical frequency and total electron content over low latitudes before three recent major earthquakes in China. J. Geophys. Res., 115, A11313, doi:10.1029/2009JA014842;

3 Ouzounov, D., Pulinets, S. and Davidenko D., (2015). Revealing pre-earthquake signatures in atmosphere and ionosphere associated with 2015 M7.8 and M7.3 events in Nepal. Preliminary results, arXiv:1508.01805 http://adsabs.harvard.edu/abs/2015arXiv150801805O

4 Oikonomou, C., Haralambous, H. & Muslim, B., (2016). Investigation of ionospheric TEC precursors related to the M7.8 Nepal and M8.3 Chile earthquakes in 2015 based on spectral and statistical analysis. Natural Hazards. Supp 1:97. doi: 10. 1007/s11069-016-2409-7.

5 Liming He, Kosuke Heki, (2017). Ionospheric anomalies immediately before Mw 7.0-8.0 earthquakes. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 122, 8, 865.

6 Калинин Ю.К., Сергеенко Н.П., (2008). Сейсмоионосферные эффекты в F2-слое во время гелиогеофизических возмущений. Солнечно-земная физика, вып. 12, 2, 255-257.

7 A. De Santis, G. De Franceschi,L. Spogli, e.a., (2015). Geospace perturbations induced by the Earth: The state of the art and future trends. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 85–86, 17–33.

8 Pulinets, S.A., and Ouzounov D., (2011). Lithosphere–Atmosphere–Ionosphere 621 Coupling (LAIC) model. An unified concept for earthquake precursors validation. J. Asian Earth Sci. 41, 371-382.

9 Afraimovich E.L., Astafyeva E.I., (2008). TEC anomalies – Local TEC changes prior to earthquakes or TEC response to solar and geomagnetic activity changes? Earth Planets Space, 60, 961–966.

10 Пулинец С. А., Бондур В. Г., Цидилина М. Н., Гапонова М. В., (2010) Проверка концепции сейсмо-ионосферных связей в спокойных гелиогеомагнитных условиях на примере Венчуаньского землетрясения в Китае 12 мая 2008г. Геомагнетизм и Аэрономия, 50, 2. 240–252.

11 Уткин В.И., Юрков А.К., (2010). Радон как индикатор геодинамических процессов. Геология и геофизика, 51, 2, 277—286.

12 Пулинец С.А., Узунов Д. П., КарелинА. В., Давиденко Д. В., (2015) Физические основы генерации краткосрочных предвестников землетрясений. Комплексная модель геофизических процессов в системе литосфера-атмосфера-ионосфера-магнитосфера, инициируемых ионизацией. Геомагнетизм и аэрономия, 55, 4,1–19.

13 Namgaladze A.A., Zolotov O.V., Karpov M.I., Ro: Manovskaya Y.V., (2012). Manifestations of the earthquake preparations in the ionosphere total electron content variations. Natural Science, 4, 11, 848–855.

14 Pulinets, S.A., Boyarchuk, K.A., Hegai, V.V. and Karelin, A.V., (2002). Conception and model of seismo-ionosphere-magnetosphere coupling, in Seismo-Electromagnetics: Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Couplin. Eds. M.Hayakawa and O.A.Molchanov, TERRAPUB, Tokyo. 353-36.

15 Ким В.П., Пулинец С.А., Хегай В.В., (2002). Теоретическая модель возможных изменений в ночной среднеширотной области D ионосферы над зоной подготовки сильного землетрясения. Известия ВУЗов Радиофизика, XLV, 4, 289-296.

16 Салихов Н. М., Пак Г. Д., Крякунова О. Н., (2013). Комплексное геофизическое исследование по обнаружению предвестников Капчагайского землетрясения в 2011 году. Известия НАН РК, 5, 138-143.

17 Salikhov N. M., Shepetov A. L., Chubenko A. P., Kryakunova O. N., and Pak G. D., (2013). Observation of the possible prior earthquake effect on the intensity of low-energy neutrons, gamma-radiation, and on the local electric field in Tien Shan mountain. arXiv:1301.6965 [physics.geo-ph], 2013.

УДК 550.343.6

ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА ПО КОМПЛЕКСУ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Т.У.Артиков, Р.С.Ибрагимов, Т.Л.Ибрагимова, М.А.Мирзаев
Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан

Обсуждается метод выявления мест ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы по комплексу прогностических параметров сейсмического режима. На территории Узбекистана выявлены области, в которых на текущий момент времени наблюдаются аномалии в различных параметрах сейсмического режима. По количеству проявившихся аномальных признаков области ранжированы по вероятности возникновения в них сильных землетрясений.
Ключевые слова: долгосрочный прогноз землетрясений, параметры сейсмического режима, сейсмическая активность, сейсмическая брешь

LONG-TERM FORECAST OF STRONG EARTHQUAKE IN THE UZBEKISTAN TERRITORY ON THE COMPLEX OF PROGNOSTIC PARAMETERS OF SEISMIC REGIME

T.U Artikov, R.S Ibragimov, T.L Ibragimova, M.A Mirzaev
Institute of Seismology of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

A method for identifying the locations of the expected seismic activation for the next few years is discussed using a set of predictive parameters of the seismic regime. On the territory of Uzbekistan, areas are identified in which at the current time anomalies are observed in various parameters of the seismic regime. By the number of manifested anomalous signs of the region are ranked according to the probability of occurrence of strong earthquakes in them.
Key words: long-term forecast of earthquakes, parameters of seismic regime, seismic activity, seismic gap

Введение

На территории Узбекистана и в сопредельных с ним областях неоднократно происходили землетрясения с магнитудой $M \geq 7$ и интенсивностью сотрясений в эпицентре более I_0=9-10 баллов по шкале

MSK-64. Поэтому проблема обеспечения сейсмической безопасности территории и населения республики весьма актуальна. Современные карты сейсмического районирования показывают зоны, в которых интенсивность сейсмических воздействий с заданной вероятностью не будет превышена в течение 50-100 лет. Вопрос же о том, какие из сейсмоопасных зон проявят себя сейсмической активизацией в ближайшие годы, нуждается в детальном рассмотрении, основанном на выявлении пространственно-временных и энергетических закономерностей развития сейсмического процесса в очагах сильнейших землетрясений, исследовании направленности его протекания в пределах сейсмоактивной зоны, установлении особенностей взаимосвязи между сейсмодинамическим режимом различных активных тектонических структур с учетом их характерных размеров.

Целью данной статьи является обсуждение разрабатываемого метода прогноза мест ожидаемой в ближайшие годы сейсмической активизации на территории Узбекистана по комплексу прогностических параметров сейсмического режима.

Метод исследования

Прогноз мест ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы базируется на закономерностях изменений параметров сейсмического режима в очаговых областях сильных землетрясений в период их подготовки и особенностях протекания сейсмического процесса в сейсмоактивных зонах.

На первом этапе, в пределах сейсмоактивных зон выделяются такие пространственные области, в которых сейсмическая активность на уровне сильных землетрясений за исторический период времени была весьма высокой. Это области интенсивного дробления земной коры, и они характеризируют, пользуясь терминологией Ю.В.Ризниченко [1], современный «сейсмический климат» исследуемой территории. В связи с малой изменчивостью в течение десятков и сотен лет направленности протекания сейсмотектонических процессов, определяющих современное напряженное состояние сейсмоактивных зон, с высокой степенью вероятности именно эти области проявят себя высокой сейсмической активностью и в ближайшие десятилетия.

На втором этапе, в каждой из выделенных областей зоны проводится расчет комплекса прогностических параметров сейсмического режима. По выявленным за последние годы аномальным изменениям области ранжируются по вероятности ожидания в них сильных землетрясений в течение 5-6 ближайших лет. Тем самым оценивается состояние исследуемых зон на текущий момент времени, или же, пользуясь той же терминологией [1], определяется «сейсмическая погода».

Остановимся подробнее на описании каждого этапа.

Для анализа сейсмического процесса по сейсмологическим и сейсмотектоническим данным на территории Узбекистана выделено десять сейсмоактивных зон, направление которых совпадает с простиранием крупных геотектонических структур [2-3], способных генерировать землетрясения с магнитудой $M \geq 5$. Это Ташкентская ((1), Южно-Ферганская ((2), Восточно-Ферганская ((3), Нурекатино-Ангренская ((4), Северо-Ферганская ((5), Южно-Узбекистанская ((6), Амударьинская ((7), Газли-Каратагский фрагмент Южно-Тянь-Шаньской сейсмоактивной зоны ((8), Северо-Тамдынская зона ((9) и Таласо-Ферганская зона ((10).

На рисунке 1 показаны выделенные сейсмоактивные зоны и эпицентры землетрясений с $M \geq 4.8$ ($K \geq 12.7$) территории Узбекистана и сопредельных областей, начиная с исторических времен. Как это видно из рисунка, сильные землетрясения располагаются не равномерно по сейсмоактивной зоне, а концентрируются в виде групп в областях с линейными размерами 50-80 км. На карте эпицентров землетрясений мы отметили 29 мест таких скоплений эллипсами различных размеров.

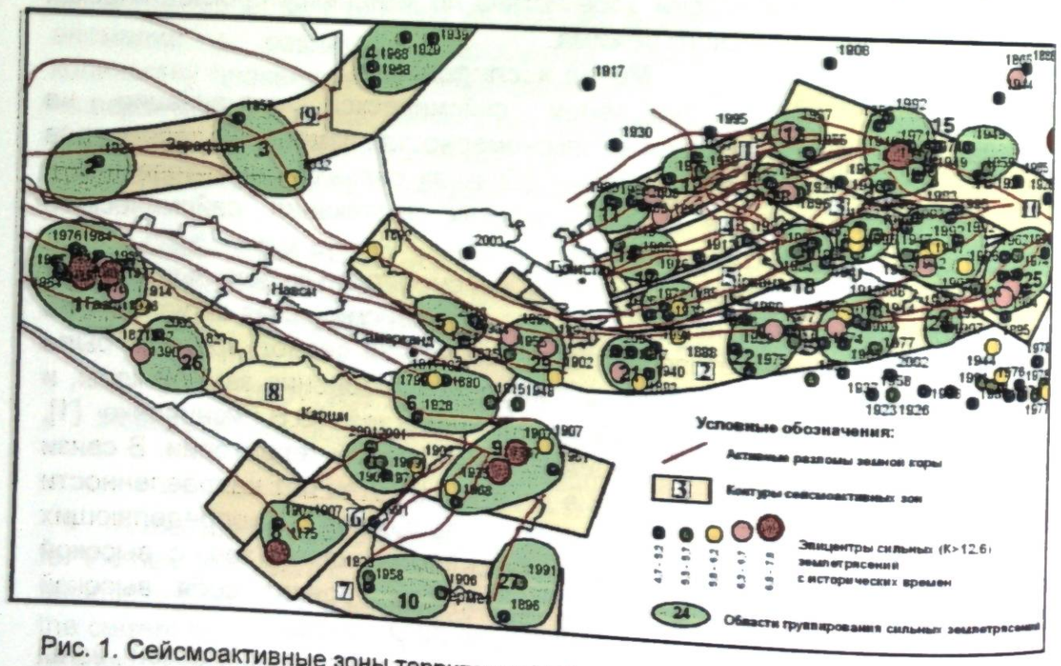


Рис. 1. Сейсмоактивные зоны территории Узбекистана и эпицентры сильных ($M \geq 4.8$) землетрясений с исторических времен

Сосредоточение сильных землетрясений в компактных областях имеет реальную физическую природу. Места остановки разрывов от происшедших землетрясений являются дополнительными концентраторами напряжений. Поэтому последующим подвижкам, по мере роста тектонических напряжений в пределах сейсмоактивной зоны, проще всего реализоваться именно в этих областях. Эти соображения,

безусловно, перекликаются с концепцией «сейсмической бреши» [4], но линейные размеры выделяемых нами областей существенно меньше, чем это предусмотрено в рамках упомянутой концепции. Так с учетом длины очага тектонического землетрясения с $M \geq 7$ [1], область, охватывающая три Газлийских землетрясений 1976 и 1984 гг. должна бы превысить 150 км. В реальности же она значительно компактней и не превышает 70-80 км.

Сопоставляя карты эпицентров, построенные за различные временные интервалы (до 1900 г. и начиная с инструментального периода), можно отметить, что выделенные области с высокой концентрацией сильных землетрясений, достаточно устойчиво сохраняют свою конфигурацию. Поэтому и в ближайшие десятилетия с высокой степенью вероятности именно эти области проявят себя высокой сейсмической активностью.

В пространственно-временном распределении последовательных сильных землетрясений, происходящих в пределах единой сейсмоактивной зоны, существуют определенные статистические закономерности [5]. На основе анализа представительных сейсмических событий с $M \geq 4.8$, начиная с 1900 г. (более 200 сейсмических событий), установлено, что для 65% землетрясений временной интервал между двумя последовательными сейсмическими событиями, возникшими в одной и той же сейсмоактивной зоне, не превосходит пяти лет. И в равных долях, примерно по 10%, временной интервал двумя последовательными сейсмическими событиями составляет 6-10, 11-15 и 16-20 лет. Преобладание короткой (0-5 лет) сейсмической паузы между последовательными сейсмическими событиями свидетельствует о том, что землетрясения, возникающие в пределах сейсмоактивной зоны, происходят не равномерно во времени, а группируются в периоды сейсмической активизации.

В пространственном расположении очага последующего землетрясения относительно местоположения предыдущего землетрясения выявляются следующие закономерности (рис.2.). Если последующее сильное землетрясение происходит в первые пять лет после уже возникшего, то вероятней всего оно будет находиться на расстоянии R=0-70 км от него. Это могут быть не только афтершоки предыдущего землетрясения, но и самостоятельные сильные толчки, происходящие в компактных пространственно-временных интервалах, в результате чего мы наблюдаем миграцию землетрясений, а также одиночные землетрясения, возникающие на незначительном удалении от происшедшего сильного землетрясения (эффект, так называемого, «расхождения сейсмичности»).

Если последующее сильное землетрясение возникает во временном промежутке T=5-10 лет после возникновения предшествующего, то с наибольшей вероятностью оно произойдет на

расстояниях R=70-140 км от него. И, наконец, если последующее сильное землетрясение возникает во временном промежутке T=10-15 лет после возникновения предшествующего, то с наибольшей вероятностью оно произойдет на расстояниях R=140-210 км от него.

На основе эмпирического распределения пространственно-временных интервалов возникновения последующего сильного землетрясения относительно предыдущего, с учетом места и времени возникновения последних сильных землетрясений в зоне, построена карта областей ожидаемой сейсмической активизации территории Узбекистана на ближайшие годы по данному прогностическому признаку (рис.3).

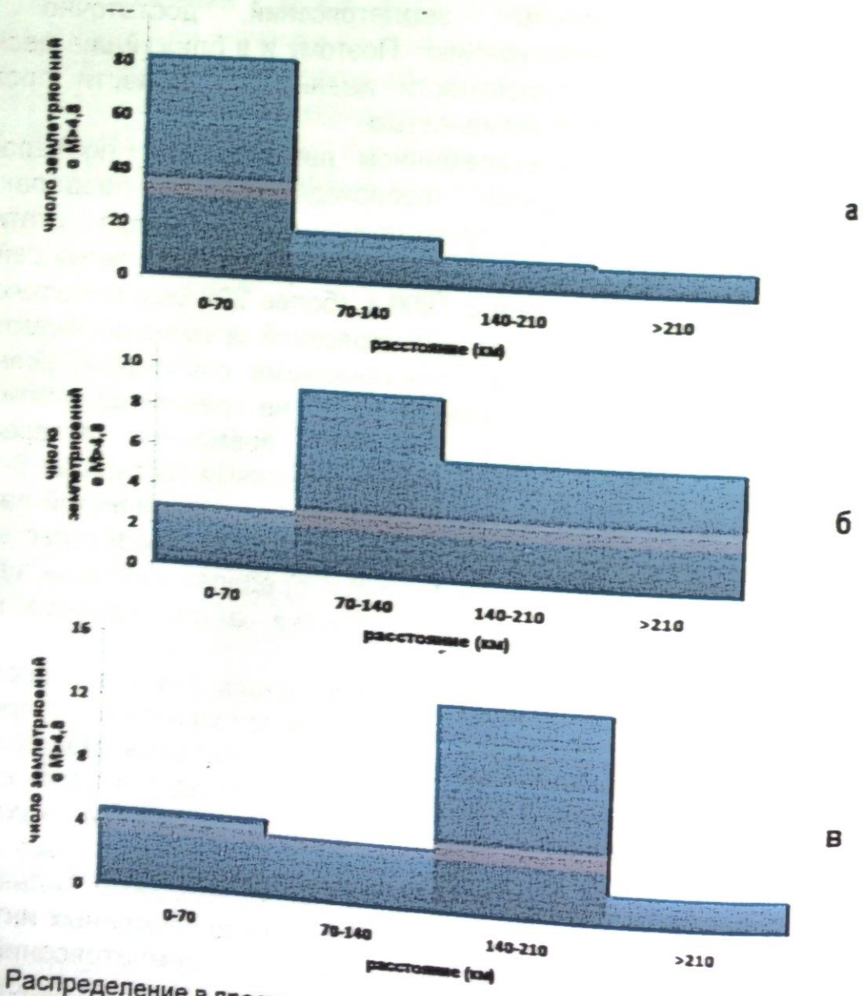


Рис. 2. Распределение в пространстве последующих сильных землетрясений сейсмоактивной зоны относительно предыдущего в различные промежутки времени: а) в первые 5 лет; б) в промежутке 5-10 лет; в) в промежутке 10-15 лет

Как это видно из рисунка, наиболее опасными по данному прогностическому признаку в Восточном Узбекистане являются юго-

западная часть Приташкентского района и область сочленения Южно-Ферганской и Восточно-Ферганской сейсмоактивных зон. На территории Центрального Узбекистана велика вероятность возникновения сильного землетрясения в пределах почти всей Южно-Узбекистанской зоны, где в течение последних пяти лет произошли три сильных землетрясения: Марджанбулакское, Китабское и Бахмальское.

Для каждой сейсмоактивной зоны и различных ее сегментов по землетрясениям с M=2.5-4.5 были определены средние долговременные параметры повторяемости землетрясений различного энергетического уровня - сейсмическая активность и сейсмическая дробность среды. С учетом даты последнего землетрясения с M≥4.8 в сейсмоактивной зоне и в различных ее сегментах, в предположении, что сильные землетрясения образуют Пуассоновский поток событий, оценена вероятность возникновения очередного сильного землетрясения в каждой зоне на текущий момент времени. На рисунке 4 показана карта зон ожидания сильных землетрясений по длительности сейсмической паузы. Глубина сейсмического затишья на данной карте характеризуется количеством средних периодов $T_{M=4.8}$, в течение которых землетрясений такого энергетического уровня в зоне не происходило, и вероятностью их возникновения на текущий момент по распределению Пуассона.

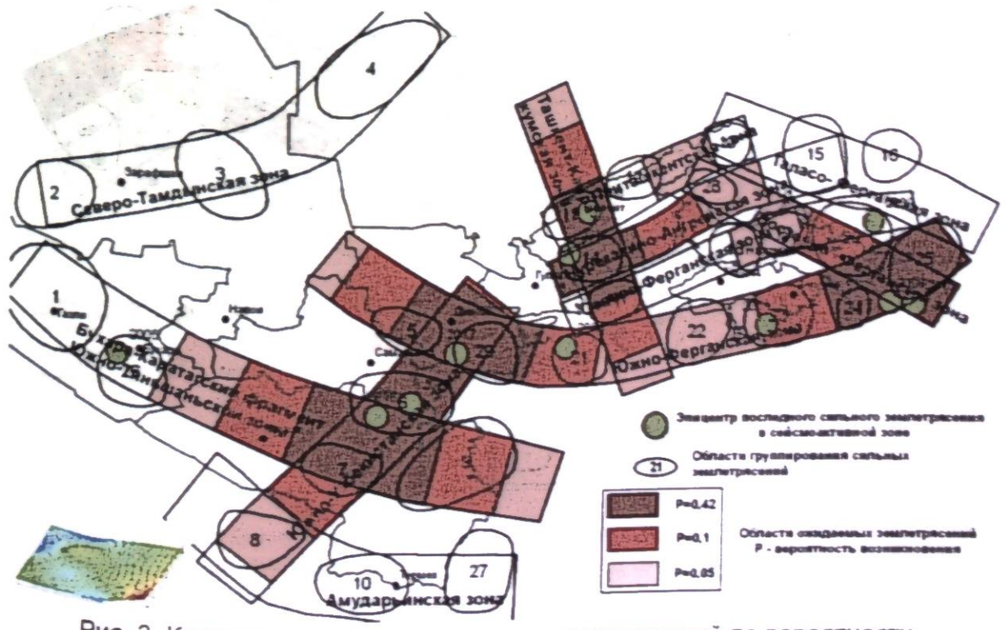


Рис. 3. Карта мест ожидания сильных землетрясений по вероятности пространственно-временного распределения последовательных сейсмических событий

Наибольшей глубиной сейсмического затишья по землетрясениям с M≥4.8 характеризуется центральная часть Северо-Ферганской

сейсмоактивной зоны, где в 1984 г. произошел рой Папских землетрясений, и юго-восточная часть Таласо-Ферганской сейсмоактивной зоны, где последнее сильное землетрясение датируется 1928 годом. На этих участках длительность сейсмической паузы по сейсмическим событиям с $M \geq 4.8$ составляет 4-5 средних периода повторения землетрясений такого энергетического уровня. Велика вероятность возникновения сейсмической активизации по данному прогностическому признаку и в центральной части данной зоны, а также на концевых участках Восточно-Ферганской сейсмоактивной зоны. Здесь сейсмическая пауза по землетрясениям с $M \geq 4.8$ составляет 2-3 средних периода повторения землетрясений такой силы. Эти области, в которых активность слабых землетрясений высока, а разрядки в виде сильных землетрясений не происходит, представляют определенный интерес в плане долгосрочного прогноза сейсмической активизации. Вместе с тем, учитывая, что сильные землетрясения происходят во времени неравномерно, делать прогноз, опираясь только на графики повторяемости землетрясений, нельзя.

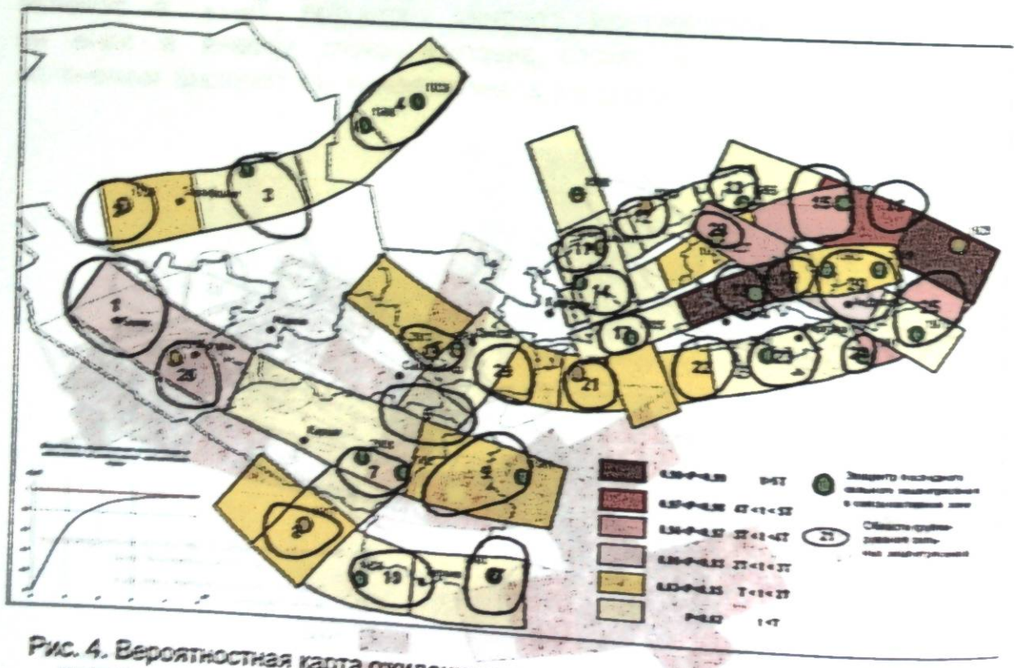


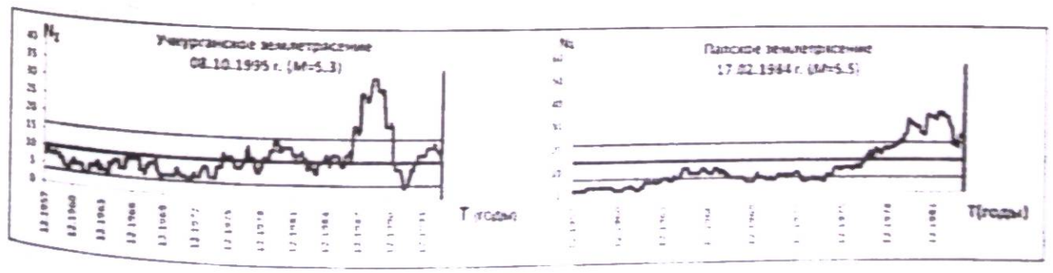
Рис. 4. Вероятностная карта ожидания сильных землетрясений в сейсмоактивной зоне по длительности сейсмической паузы

Дальнейшее исследование текущей сейсмологической обстановки в пределах сейсмоактивных зон проводилось на основе анализа комплекса прогностических параметров сейсмического режима, характеризующих кинетику процесса трещинообразования очаговой области по мере приближения к моменту магистрального разрыва [6-8].

При этом особое внимание отводилось тем 29 областям сейсмоактивных зон, в которых за исторический период времени происходили сильные землетрясения. Рассматривались следующие параметры сейсмического режима [6, 7]:

- суммарное и поклассовое количество землетрясений, происходящих в каждой точке сейсмоактивной зоны в единицу времени на предмет выявления областей сейсмической активизации и сейсмического затишья, а также определения областей, где наблюдаются эффекты так называемой «кольцевой активности» [4];
- временные изменения сейсмической дробности среды (параметр γ в законе Гутенберга-Рихтера распределения числа землетрясений по энергетическим классам), а также совместное поведение сейсмической активности и сейсмической дробности;
- параметры, характеризующие степень сгруппированности сейсмических событий во времени и в пространстве;
- энергетические характеристики сейсмического режима, которые описываются функцией логарифма выделившейся сейсмической энергии, графиками Беньоффа, площадью образующихся в процессе сейсмической деформации разрывов, пропорциональных выделенной энергии с показателем степени 2/3.

Для различных параметров сейсмического режима размеры круговых областей, в которых они рассчитывались, а также пороговые значения, для объявления тревоги в различных прогностических признаках, выбирались на базе ретроспективного анализа динамики сейсмического процесса в областях подготовки сильных землетрясений (было проанализировано свыше 40 очаговых зон) [8]. Для примера на рис. 5-6 показаны примеры проявления предвестников «активизация сейсмичности» и «аномалии сейсмической дробности» (параметр γ), наблюдавшиеся перед некоторыми сильными землетрясениями территории Узбекистана, а на рисунках 7-8 показаны области, в которых на 01.01.2016 г. наблюдаются аномалии по этим прогностическим признакам. Поскольку подобные аномалии неоднократно предшествовали сильным землетрясениям, они имеют определенную прогностическую ценность.



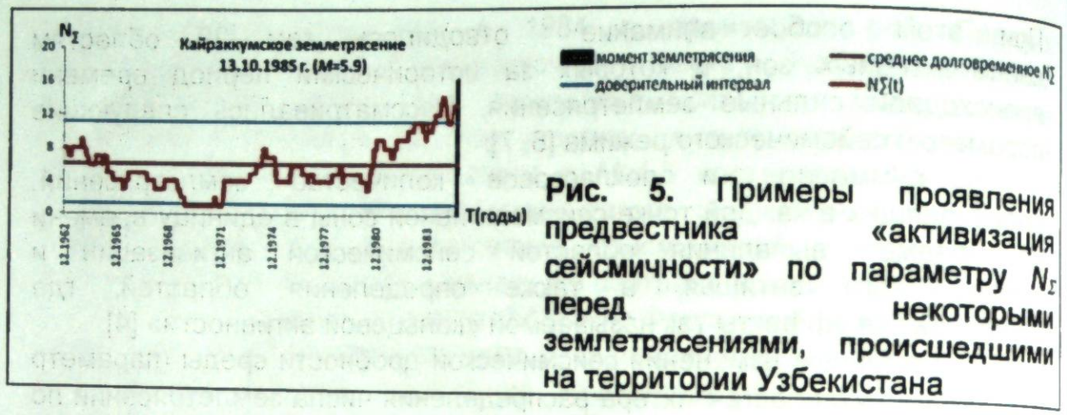


Рис. 5. Примеры проявления предвестника «активизация сейсмичности» по параметру N_Σ перед некоторыми землетрясениями, происшедшими на территории Узбекистана

Результаты и их обсуждение. На основе анализа комплекса прогностических признаков была построена карта областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы (рис. 9). По числу проявившихся аномальных признаков были введены четыре градации для характеристики степени сейсмической опасности очаговой зоны на текущий момент времени: с низкой, с невысокой, с высокой и с очень высокой вероятностью возникновения землетрясений в ближайшие годы.



Рис. 6. Примеры проявления предвестника аномалии сейсмической дробности (параметр γ) перед некоторыми землетрясениями, происшедшими на территории Узбекистана

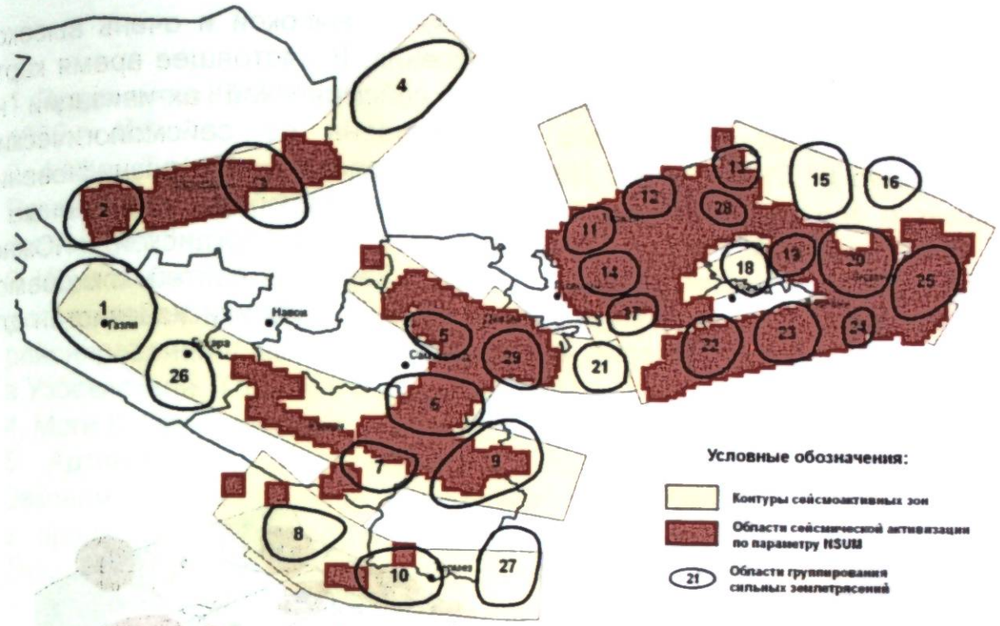


Рис. 7. Области сейсмической активизации по параметру N_Σ на 01.01.2018 г.

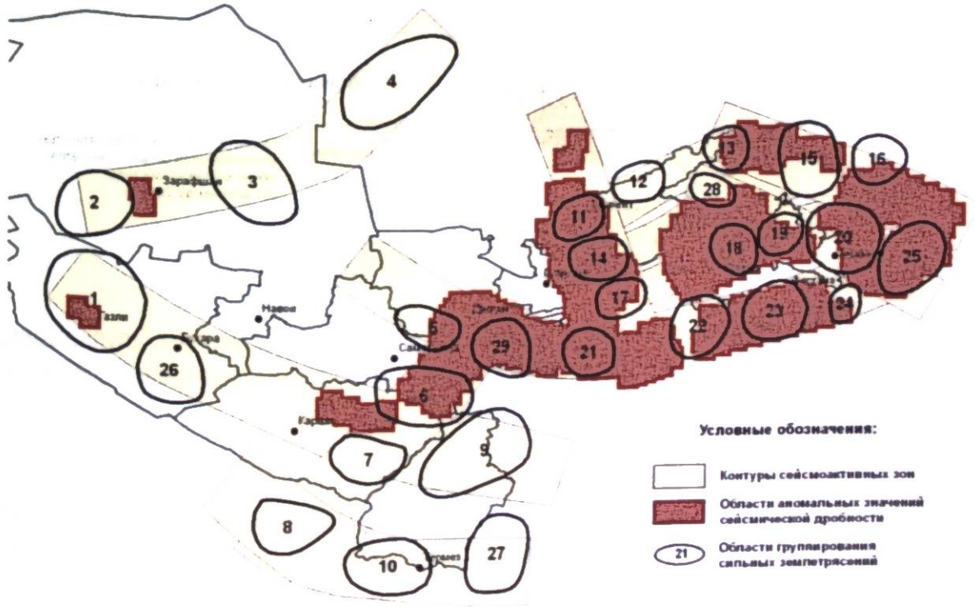


Рис. 8. Области аномальных значений сейсмической дробности на 01.01.2018 г.

Первый вариант карты областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы был построен по материалам, ограниченным 2015 годом. Построенная карта была передана в МЧС РУз в январе 2016 года. Все сильные ($M \geq 5$) землетрясения 2016 и 2017

годов произошли в выделенных областях с высокой и очень высокой вероятностью возникновения землетрясения. В настоящее время карта мест ожидаемой в ближайшие годы сейсмической активизации на территории Узбекистана (рис. 9) построена по сейсмологическим данным по 01.01.2018 года. Наибольшей вероятностью возникновения сильного землетрясения характеризуются области, расположенные в Южно-Ферганской, Северо-Ферганской, Восточно-Ферганской и Южно-Узбекистанской сейсмоактивных зонах. Карта областей ожидаемой сейсмической активизации передана в МЧС Республики Узбекистан для проведения антисейсмических мероприятий.

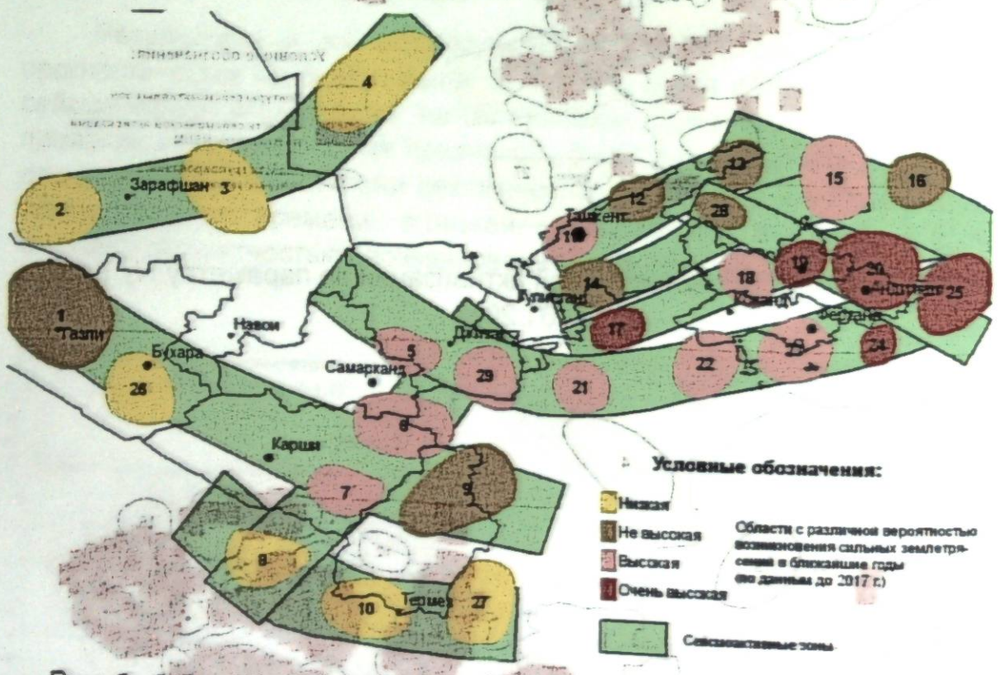


Рис. 9. Области ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы по комплексу прогностических параметров сейсмического режима

Заключение

Предложен метод выявления областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы по комплексу прогностических параметров сейсмического режима. На территории Узбекистана выявлены области, в которых на текущий момент времени наблюдаются аномалии в различных параметрах сейсмического режима. По количеству проявившихся аномальных признаков области ранжированы по вероятности возникновения в них сильных землетрясений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. Избранные труды. М: Наука, 1985. – 408 с.
2. Artikov T.U., Ibragimov R. S, Ibragimova T.L, Mirzaev M.A., Artikov M.T. Revealing of seismic activation interrelationships in various seismoactive zones// Geodesy and Geodynamics, 2015. - vol.5, N6. – pp. 351-360.
3. Ибрагимов Р.Н., Нурматов У.А., Ибрагимов О.Р. Сейсмотектонический метод оценки сейсмической опасности и вопросы сейсмического районирования//Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане. Ташкент: Гидроингео, 2002. – С. 59-74.
4. Моги К. Предсказание землетрясений. М: Наука. 1988. - 382 с.
5. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мирзаев М.А. Закономерности проявления последовательных сильных землетрясений в пределах сейсмоактивных зон Узбекистана// Доклады АН РУз. - Ташкент, 2015. - №3. - С. 38-40.
6. Соболев Г. А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. – М.: Наука, 2003. - 270 с.
7. Завьялов А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация. М.: Наука, 2006, 254 с.
8. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Зияудинов Ф.Ф. Сейсмическая опасность территории Узбекистана. – Ташкент: Фан, 2012. - 254 с.

УДК 531;550.394

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ УЗБЕКИСТАНА ПОСЛЕ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В БЛИЗЛЕЖАЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ

Артиков Т.У., Атабеков И.У., Ибрагимова Т.Л.
Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан

Изучается сейсмологическая обстановка в сейсмоактивных зонах территории Узбекистана после возникновения сильных землетрясений в Центрально Азиатском регионе. Анализ основывается на статистических данных и результатах численного моделирования методами моментной упругости изменения напряженного состояния земной коры в результате возникновения сильных землетрясений. Статистическим анализом установлено, в каких из сейсмоактивных зон территории Узбекистана вероятней всего ожидать сейсмическую активизацию, в случае возникновения сильных землетрясений в высоко энергетичных сейсмоактивных зонах Центральной Азии. Результаты численного моделирования показали, что относительные изменения максимальных касательных напряжений в различных частях региона после сильных землетрясений достигают заметных отклонений от фоновых значений и сильно зависят от ориентации активизированного разлома по отношению к направлению структуры, в которой расположен очаг инициирующего землетрясения.

Ключевые слова: сейсмическая активизация, статистическая модель, численная модель, сейсмоактивная зона, напряжение, деформация, механизм очага землетрясений

MODELING OF SEISMIC ACTIVATION OF THE UZBEKISTAN'S EARTH CRUST AFTER STRONG EARTHQUAKES IN THE CLOSER TERRITORIES

Artikov T.U., Atabekov I.U., Ibragimova TL
Institute of Seismology of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Seismological conditions in seismically active zones of the territory of Uzbekistan are studied after the occurrence of strong earthquakes in the Central Asian region. The analysis is based on statistical data and the results of numerical modeling by the methods of moment elasticity of the stress state changes in the Earth's crust as a result of the occurrence of strong earthquakes. The statistical analysis has established which of the seismically active zones of Uzbekistan is likely to expect seismic activation, in the event of strong earthquakes in high energy seismically active zones Central Asia. The results of numerical simulation showed that the relative changes in the maximum tangential stresses in different parts of the region after strong earthquakes reach appreciable deviations from the background values and strongly depend on the orientation of the activated fault in relation to the direction of the structure in which the source of the initiating earthquake is located.

Key words: seismic activation, statistical model, numerical model, seism active zone, stress, deformation, earthquake source mechanism.

Введение

Вопрос о том, насколько сильные землетрясения, происходящие в регионе, могут влиять на возникновение активизации в сейсмоактивных зонах,. расположенных на значительных эпицентральных расстояниях от очага происшедшего землетрясения, имеет очевидную практическую составляющую и к настоящему времени исследован недостаточно.

В рассматриваемой статье данный вопрос исследуется на основе статистического анализа периодов сейсмической активизации в различных сейсмоактивных зонах региона и моделирования методами моментной упругости флуктуаций напряженного состояния земной коры в результате возникновения сильных землетрясений.

Статистический метод исследования. На территории Узбекистана выделено несколько сейсмоактивных зон, направление которых, совпадает с направлением простирания крупных тектонических нарушений, способных генерировать землетрясения с магнитудой $M \geq 5$: Ташкентская, Южно-Ферганская, Северо-Ферганская, Восточно-Ферганская, Нурекатино-Ангренская, Южно-Узбекистанская, Амударьинская, Северо-Тандымская, Газли-Каратагская. Последняя из перечисленных зон в сейсмотектоническом отношении является западным окончанием Южно-Тянь-шаньской сейсмоактивной зоны, но характеризуется значительно меньшей сейсмической активностью. Назовем эти зоны внутренними.

В пределах же всего Центрально-Азиатского региона можно выделить еще более высоко энергетичные сейсмоактивные районы, в которых достаточно часто происходят землетрясения с $M \geq 7$ и выше: зона Гиндукушских глубокофокусных землетрясений, зона Памира, Таласо-Ферганская сейсмоактивная зона, Северо-Тянь-Шаньская сейсмоактивная зона, Южно-Тянь-Шаньская сейсмоактивная зона, сейсмоактивный район Копетдага.

На рисунке 1 различными цветами показано местоположение внутренних и внешних сейсмоактивных зон и эпицентры землетрясений, происшедшие в их пределах.

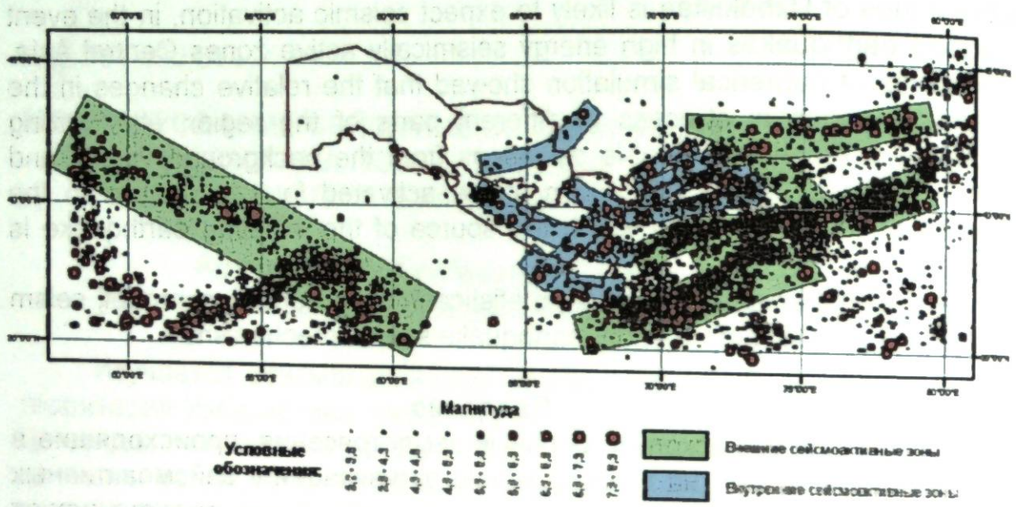


Рис. 1. Схема района исследований с указанием местоположения внутренних и внешних сейсмоактивных зон

Временные изменения сейсмичности в каждой из рассматриваемых зон представлялись величиной логарифма высвобожденной сейсмической энергии в течение годичного интервала. Для каждой зоны такие ряды характеризуются колебательной структурой и простая корреляция временных рядов для каждой пары сейсмоактивных зон мало эффективна. Поэтому мы определили верхние 2-х σ-е пороговые значения логарифма выделенной сейсмической энергии, превышение которых могут интерпретироваться как проявление сейсмической активизации и в дальнейшем рассматривали не сами временные ряды сейсмической энергии, а функцию, рассчитанную следующим образом:

$$F(t)=\begin{cases}1, если\ \lg E(t)\ или\ \lg E(t-1)\ или\ \lg E(t+1)\geq П\\ 0, если\ \lg E(t)\ и\ \lg E(t-1)\ и\ \lg E(t+1)\leq П\end{cases}$$

т.е. активной фазой в каждой сейсмоактивной зоне считался год возникновения сильного землетрясения, год до него и год после него. Выбор годичного интервала за год до землетрясения и год после него определялся исходя из прогнозной целесообразности выявляемых связей.

Для большинства сейсмоактивных зон территории Узбекистана величина порога **П** колеблется вокруг значения **П=*lgE=13***, т.е. возникновение землетрясений с ***K≥13*** ***(M≥5)*** может считаться

проявлением сейсмической активизации. Пороговые значения для крупных внешних (по отношению к территории Узбекистана) сейсмоактивных зон Центральной Азии оказались существенно различными. Так для зоны Гиндукуша значение порога было принято ***П=lgE =17***, а для района Копетдага - ***П=15***.

В процессе выполнения работы решались две различные, но взаимосвязанные задачи:

1) с какими из внешних сейсмоактивных зон в наибольшей степени связана активизация в каждой из сейсмоактивных зон на территории Узбекистана;
2) в какой мере активизация в одной из внешних зон может влиять на возможность активизации в каждой из внутренних зон на территории Узбекистана.

Для решения первой задачи строились графики времен сейсмической активизации в каждой из внешних сейсмоактивных зон в период с 1900-го по 2005-й годы и на них наносились моменты сильных (***M≥5***) землетрясений для одной из внутренних сейсмоактивных зон за этот же период времени. Сопоставлялись два следующих параметра: ***m/n*** – отношение числа землетрясений, попадающих в интервалы тревог (***m)***, к общему числу землетрясений (***n)*** и ***τ/T*** – отношение времени тревог (***τ)*** в каждой из внешних сейсмоактивных зон к общему периоду наблюдений (***T)***. В случае, если доля времени тревог превышала долю землетрясений, попавших в интервалы тревог (***τ/T> m/n***) считалось, что связи нет, в случае же, если доля числа землетрясений, попавших в интервалы тревог, превосходила долю времени тревог (***m/n>τ/T***), оценивалась статистическая значимость ***Φ(ξ)*** различия этих чисел и степень информативности ***q*** выявленных связей по методике В.Ф.Писаренко.

Результаты статистического анализа. На рисунке 2а, на основе имеющихся статистических данных, схематически показано, с какими внешними сейсмоактивными зонами в наибольшей степени связана активизация в каждой из внутренних зон на территории Узбекистана. На рисунке 2б схематически показано, в каких сейсмоактивных зонах территории Узбекистана наиболее вероятна сейсмическая активизация в случае, если произошло сильное землетрясение в одной из внешних сейсмоактивных зон.

Красным цветом отмечены связи с высоким уровнем статистической значимости (***Φ(ξ)*** **>0,9)** и розовым цветом – с меньшим (**0,7<*Φ(ξ)* <0,9).**

Анализируя рис. 2 можно отметить, что синхронность проявления сейсмической активизации в различных сейсмоактивных зонах во многом определяется такими факторами, как сонаправленность осей их простирания, геометрическим сходством выпуклости дуг тектонических разломов, с которыми ассоциированы данные сейсмоактивные зоны и географической близостью их расположения. Выявленные связи важны

для понимания природы взаимодействия различных сейсмотектонических структур, но не могут быть использованы при прогнозе как решающий фактор, а лишь дополняют информацию в вопросе принятия решения о возможной сейсмической активизации в той или иной сейсмоактивной зоне.

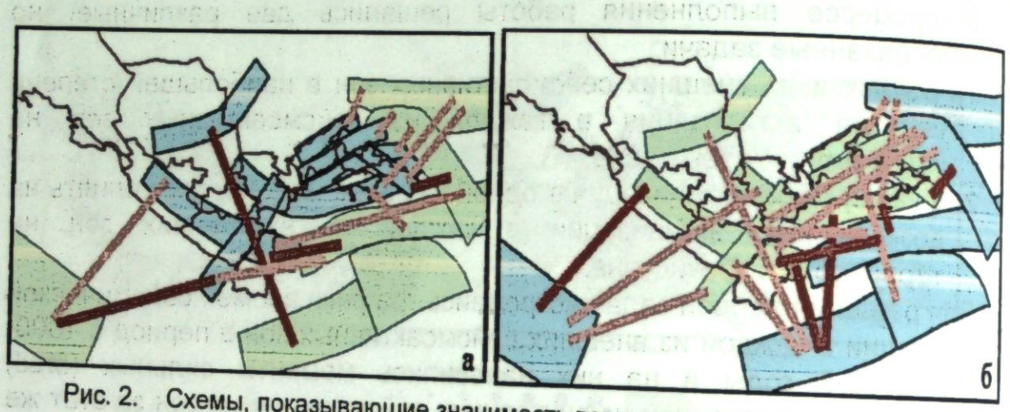


Рис. 2. Схемы, показывающие значимость взаимосвязи между периодами сейсмической активизации в различных сейсмоактивных зонах.

Математическая модель. Напряженное состояние литосферы Центральной Азии за новейшее время моделировалось на основе трехмерной моментной упругости с учетом механизма очага землетрясений:

$$\sigma_{ij,j} + F_i = 0, \qquad (1)$$

$$\mu_{ij,j} + \varepsilon_{ijk}\sigma_{ij} + M_k = 0, \qquad i,j=1,2,3$$

где σ_{ij}, μ_{ij} – компоненты силового и моментного тензора напряжений, запятая j означает дифференцирование по декартовым координатам x_j, $F(0,0,\rho g)$ – массовая сила, ε_{ijk} – тензор Леви–Чивита, M_k – массовый момент имеющий размер момент деленный на объем. Уравнения моментной упругости упрощены принятием $\omega_k = \varepsilon_{ijk}u_{i,j}$, что дает возможность вернутся к уравнениям безмоментной теории упругости, с той разницей, что тензор напряжений перестает быть симметричным $\sigma_{ij} \neq \sigma_{ji}$. По геолого-геофизическим и сейсмологическим данным литосфера Центральной Азии состоит из 19 блоков первого ранга строения и находятся в изостатическом равновесии относительно астеносферы.

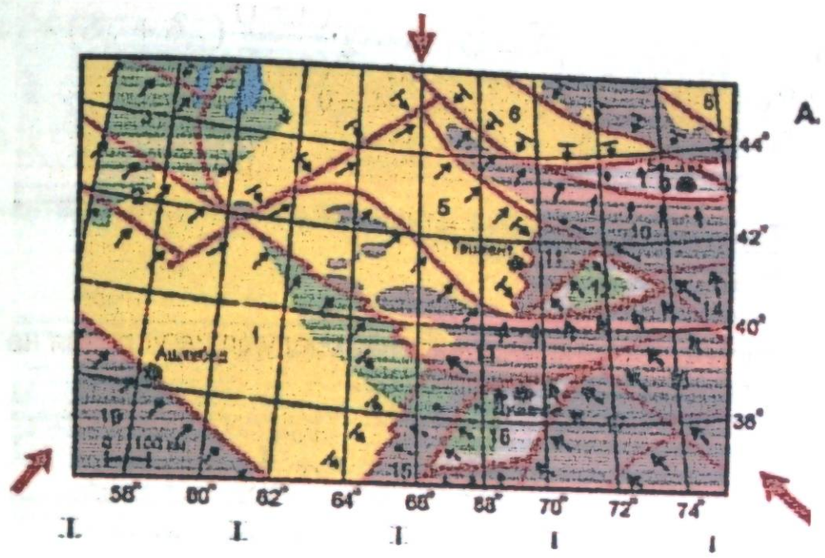


Рис. 3

В случае учета очага землетрясений на определенной глубине необходимо привлекать полную систему трехмерных уравнений (1), решение которых довольно проблематично. Предлагается один способ упрощения этих систем с учетом специфики геодинамической постановки задачи: размеры рассматриваемой территории в плане намного больше по сравнению толщиной литосферы; на поверхности земли напряжения отсутствуют; на контакте плит с астеносферой касательные напряжения являются силами трения, и на ней можно не учитывать изменения вертикальных перемещений. Эти особенности дают возможность усреднять напряжения и перемещения литосферы по формуле:

$$\overline{w}(x_1, x_2) = \frac{1}{h}\int w(x_1, x_2, x_3)dx_3 \qquad (2)$$

где черта означает усреднение по x_3 (ось направлена вертикально вниз), h-толщина литосферы.

Распишем систему (1) по координатам, принимая например,

$$\sigma_{xy} = \sigma_{yx} + M_z$$

$$\sigma_{xz} = \sigma_{zx} + M_y$$

$$\sigma_{yz} = \sigma_{zy} + M_x$$

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} + \frac{\partial M_y}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial\sigma_{xx}}{\partial x}-\frac{\partial M_z}{\partial x}+\frac{\partial\sigma_{yy}}{\partial y}+\frac{\partial\sigma_{zy}}{\partial z}+\frac{\partial M_x}{\partial z}=0$$

$$\frac{\partial\sigma_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial\sigma_{yy}}{\partial y}+\frac{\partial\sigma_{zz}}{\partial z}+\rho g=0 \qquad (3)$$

Усредним эти уравнения, учитывая следующие условия на свободной поверхности и астеносфере:

$$\sigma_{zz}\big|_{00}=0,\quad \sigma_{xz}\big|_{00}=0,\quad \sigma_{yz}\big|_{00}=0,$$

$$\sigma_{zz}\big|_{hh}=-\rho g h,\ \sigma_{xz}\big|_{hh}=-k\rho g h,\ \sigma_{yz}\big|_{hh}=-k\rho g h \qquad (4)$$

По формулам усреднения дельта функции

$$\overline{M}_{ij}=\frac{1}{h}M_{ij}^{00}\delta(x-x_{00})\delta(y-y_{00}),$$

$$\frac{\overline{\partial M_{ij}}}{\partial x_{ij}}=\frac{\partial\overline{M}_{ij}}{\partial x_{ij}}, \qquad (5)$$

$$\frac{\overline{\partial M_{ij}}}{\partial z}=\frac{M_{ij}^{00}}{h}\int_{00}^{hh}\delta(x-x_{00})\delta(y-y_{00})\delta'(z-z_{00})dz=0,$$

для $i=x,y,z$; $j=x,y$;

Здесь k – коэффициент трения на астеносфере.

Выражая в (3) усредненные σ_{ij} через усредненные u_i и используя следующие соотношения для осредненных величин получим:

$$\overline{\sigma}_{ii}=\frac{1}{2}(\sigma_{ii}\big|_{hh}+\sigma_{ii}\big|_{00})=\frac{1}{2}\sigma_{ii}\big|_{hh}= \qquad i=x,y$$

$$\frac{k}{2}\sigma_{ii}=\frac{1}{2}\rho k g h \qquad (6)$$

в случае сдвига диполем с моментом M_z уравнения (3) принимают следующий вид (записывая первые два уравнения векторном виде)

$$\Delta\overline{u}_{ii}+(\delta_{i1}+\delta_{i2})\frac{(1+\nu)}{(1-\nu)}\,\mathrm{grad}\,\mathrm{div}\,\overline{U}=\overline{F}, \qquad (7)$$

Здесь G, ν – упругие модули, Δ – оператор Лапласа, U – двумерный вектор с компонентами $\overline{u}_x$, $\overline{u}_y$, а компоненты вектора F равны:

$$F_x=-\frac{\rho k g}{G}-\frac{\nu}{(1+\nu)(1+2\nu)}\frac{\partial(u_z^h-u_z^0)}{\partial x}$$

$$+\frac{M_z}{G}\delta(x-x_0)\delta'(y-y_0)],$$

$$F_y=-\frac{\rho k g}{G}-\frac{\nu}{(1+\nu)(1+2\nu)}\frac{\partial(u_z^h-u_z^0)}{\partial y}$$

$$-\frac{M_z}{G}\delta'(x-x_0)\delta(y-y_0)]$$

$$F_z=-\frac{\partial(u_x^h-u_x^0)}{\partial x}-\frac{\partial(u_y^h-u_y^0)}{\partial y} \qquad (8)$$

В этих формулах верхние индексы 0 и h означают перемещения свободной поверхности и астеносферы.

Уравнения (7) решается методом последовательных приближений. За нулевое приближение принято решения

$$u_i^h=u_i^0,\ i=1,2,3$$

Правая часть векторного уравнения (7) содержит дельта функцию. Чтобы выделить нерегулярную часть решения будем его искать в виде сумм регулярной и нерегулярной частей:

$$\overline{U}=\overline{U}^R+\overline{U}^N \qquad (9)$$

где нерегулярная часть удовлетворяет следующую систему:

$$\Delta\overline{U}^N=\frac{M_z}{G}\{\delta(x-x_0)\delta'(y-y_0),-\delta'(x-x_0)\delta(y-y_0)\} \qquad (10)$$

Применив прямое и обратное преобразование Фурье к системе (10) находим следующее решение:

$$\overline{U}^N=\frac{M_z}{G}\{\frac{\partial}{\partial y}Ln\frac{1}{|r-r_0|},-\frac{\partial}{\partial x}Ln\frac{1}{|r-r_0|}\} \qquad (11)$$

Для другой части (9) получаем уравнение

$$\Delta\overline{U}^R + \frac{(1+\nu)}{(1-\nu)} graddiv\overline{U}^R = \overline{F_0} - \frac{1+\nu}{1-\nu} graddiv\overline{U}^N \qquad (12)$$

где

$$F_{0x} = -\frac{\rho kg}{G} + \frac{\nu}{(1+\nu)(1+2\nu)} \frac{\partial(u_z^h - u_z^0)}{\partial x},$$

$$F_{0y} = -\frac{\rho kg}{G} + \frac{\nu}{(1+\nu)(1+2\nu)} \frac{\partial(u_z^h - u_z^0)}{\partial y}$$

Граничные условия для U^R модифицируется с учетом U^N.

$$\overline{U}^R\big|_S = \overline{U}\big|_S - \overline{U}^N\big|_S \qquad (19)$$

и уравнение (12) решается с учетом $divU^N=0$

Решения этой системы получены методом граничных интегральных уравнений, достаточно хорошо применяемые для двумерных задач.

Результаты численного моделирования. На данном этапе численного моделирования для ускорения вычислительных процессов число девятнадцати реальных микроблоков Центральной Азии объединены к крупным пяти блокам, контакты которых не совсем соответствуют выделенным сейсмозонам 1-9. В первоочередную задачу численного моделирования ставилась цель получить из упругой модели напряжения соответствующие современному рельефу поверхности Центральной Азии, которые могли бы служить для верификации модели. На рис. 4 приводятся несколько образцов решений полученные в численном эксперименте. Упругие константы и значения боковых сил варьировались до получения приблизительного соответствия к рельефу первой картинки, которая построена по геологической карте Казахстана и Средней Азии (гл. редакторы: Афоничев Н.А., Власов Н.Г., 1981).

Моделирование межблочной подвижности достигается выбором различных вариантов соответствующие трению между различными блоками Колюк.

Значения перемещений в случае жесткого сцепления между блоками на много меньше, чем в случае трения между блоками и векторная картина немного отличаются, за счет проскальзывания на контактах блоков (рис.7).

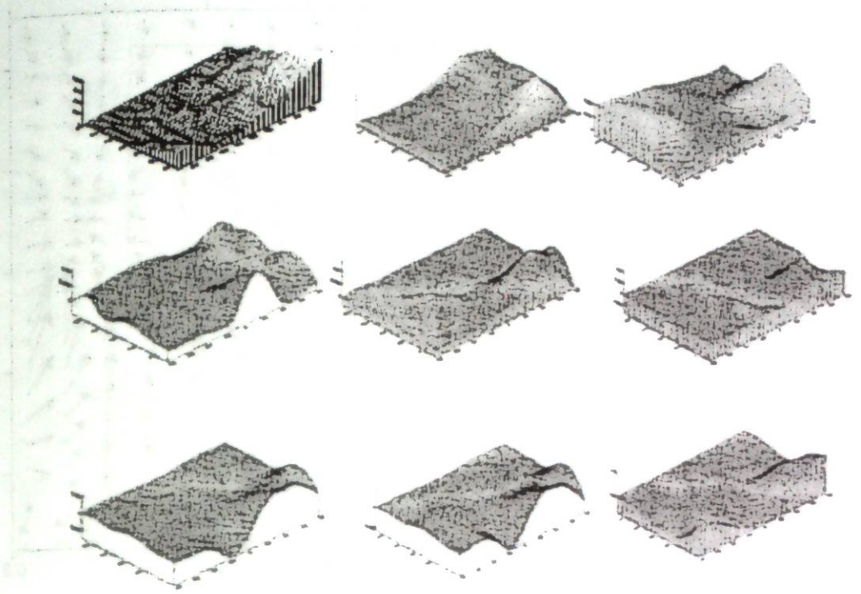


Рис. 4

На рис.5 приводятся изолинии перемещений по модулю, а на рис.6 их направления.

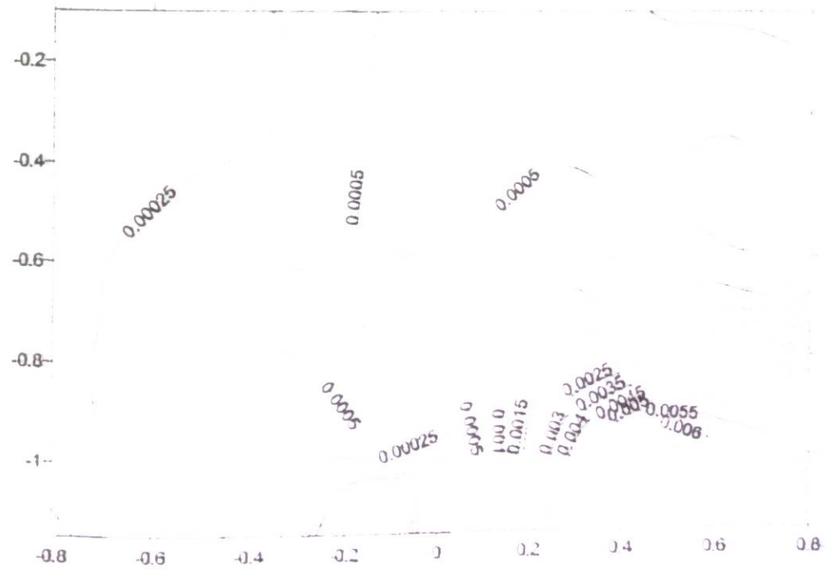


Рис. 5

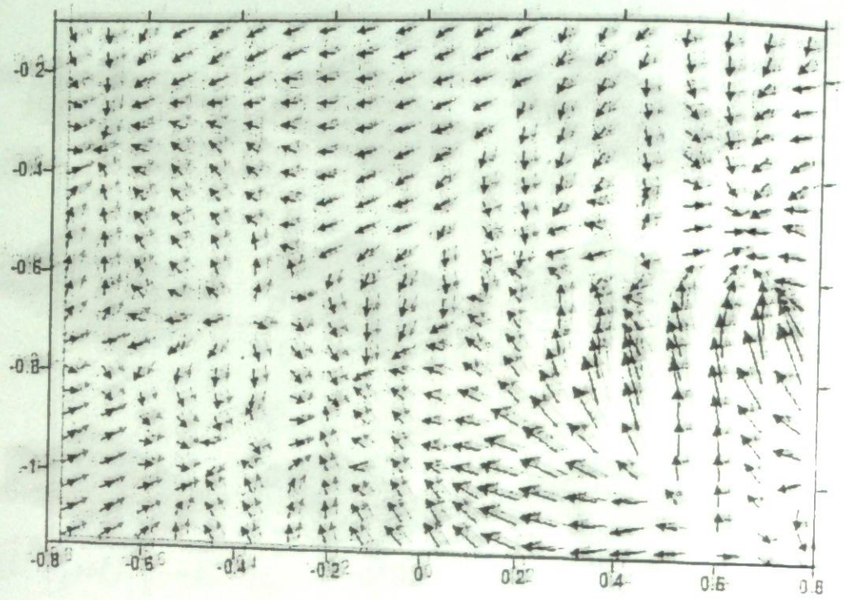


Рис.6

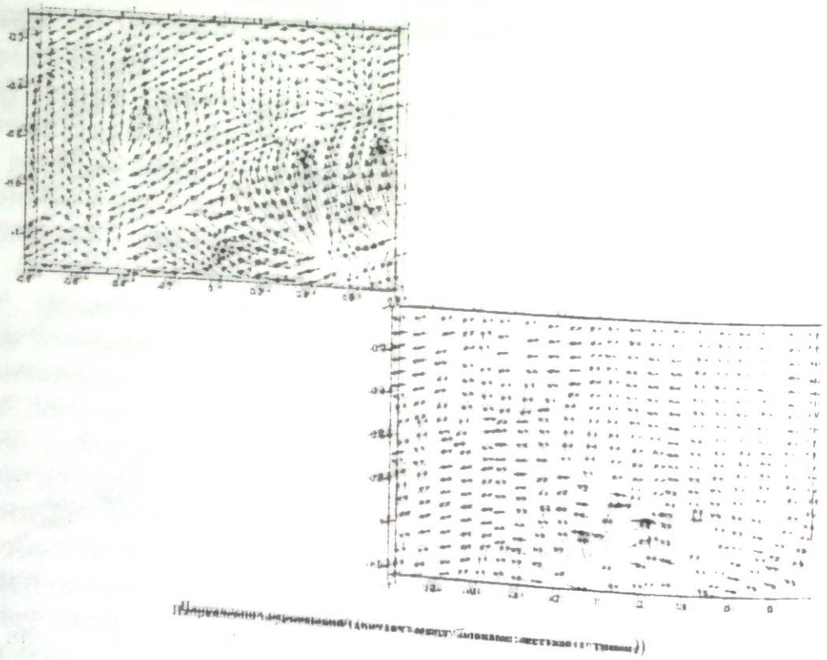


Рис. 7

На рис.8 приведены максимальные касательные напряжения в относительных величинах σ_{max}/G и на рис.9 направления максимальных касательных напряжений. Качественная картина напряжений совпадает с результатами М.В. Гзовского.

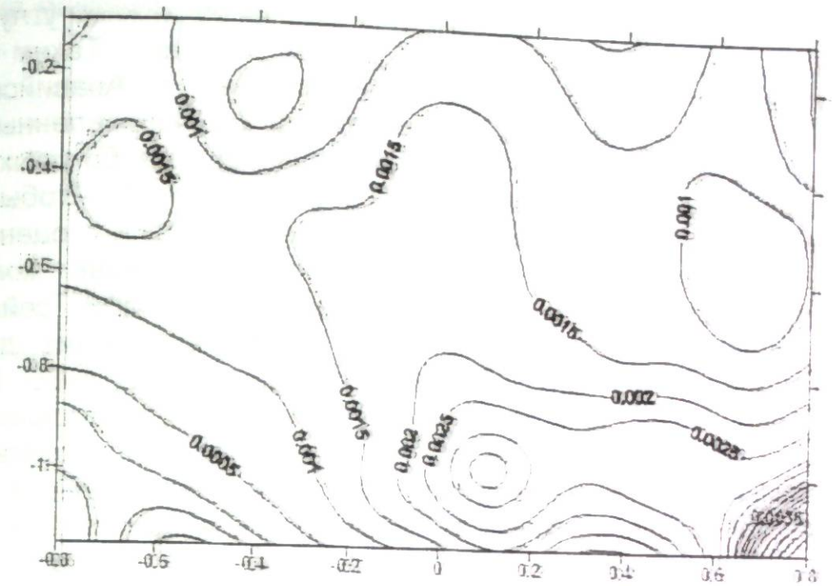


Рис. 8

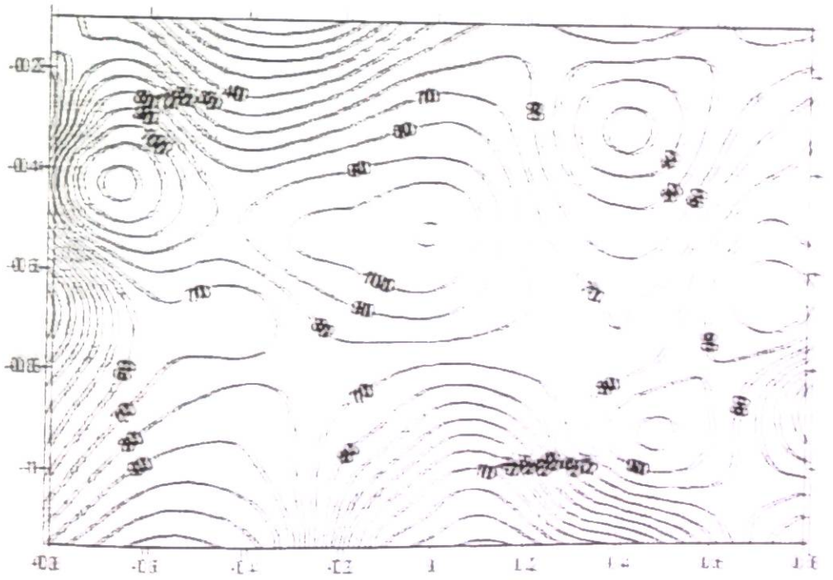


Рис. 9

В модели приняты масштабные коэффициенты для напряжений $G=0.31\ 10^5$ МПа для расстояний L=650 км. Для того чтобы получить значения максимальных высот близкие к реальным (7500-8000 метров для Тянь-Шаня), пришлось варьировать различными комбинациями модули упругости блоков и соотношения нагрузок, действующих на границах модели. Максимальная безразмерная высота рельефа

h_{max}/L=0.009 получается при значениях векторов напряжений (0.0005G, 0.035G), направленное под углом 89,1° на правом нижнем углу модели и (0.0005G, 0.00005G) т.е. 5° на левом нижнем. Таким образом, Индостанская плита давит почти вертикально, а Аравийская почти горизонтально. На нижней стороне вертикально направленные силы по значению убывают с правой до левой границы. На боковых границах смоделирован сдвиг с небольшими значениями сил. Чтобы сравнить значения напряжений и перемещений данной модели с оценками М.В. Гзовского рассчитаны модули сдвига на основе комплексной интерпретации имеющихся геоэлектрических (МТЗ, МВЗ), сейсмических (ГСЗ, ОГТ, МОВЗ), гравиметрических и геотермических данных по работам Таль-Вирского Б.Б., 1982; Бабаджанова Т.Л., 1986; Зуннунова Ф.Х., 1985, 1988; Долгополова Ф.Г., 2004 для Центральной Азии и формул связывающих константы упругости с продольными и поперечными скоростями волн. При этом максимальное значение тангенциальных напряжений σ получается в пределах 1.08 кбар, что количественно вполне соответствуют оценкам М.В. Гзовского.

Принимая за фоновое напряжения решения оттестированной задачи, находим изменения напряжений земной коры после очередного землетрясения по формулам (3). Даже на таком уровне упрощений математическая модель дает немалое согласие с выводами статистической модели, приведенной на рис.2. Расчеты показывают, что вследствие землетрясения в близлежащих территориях Узбекистана напряжения в земной коре заметно перераспределяется, что может привести к заметному снижению времени подготовки землетрясения в очагах будущих сотрясений. Подтверждается жесткая взаимосвязь между ориентацией активизированного разлома (в смысле повышенных значений напряжений) с направлением простирания очага провоцирующего землетрясения. Особенно сильные флуктуации напряжений приурочиваются к узлам пересечения блоков. Это означает, что для более корректной оценки напряжений в численной модели необходимо строить реальные местоположения разломов, согласующихся с простиранием зон глубинных разломов и флексур. Это касается также и к согласования сейсмоактивных зон статистической модели и границ блоков численной модели в будущем.

В качестве примера на рис.10 приводятся относительные изменения максимальных касательных напряжений $\Delta\sigma$ после землетрясений происшедшие в Ташкенте (26. 04.1966, M=5.25, h=8 км.,φ=41.35°N, λ=69.27°E; нодальные плоскости: I- Az=215°, e=28°; II- Az=40°, e=61°;) и в Газли (08. 04.1976, M=7.0, h=20 км.,φ=40.40°N, λ=63.50°E; нодальные плоскости: I- Az=358°, e=38°; II- Az=214°, e=56°;). Правда, в этих моделях положения очагов несколько упрощены: считалось, что сдвиговая подвижка с вертикальной плоскостью разрыва происходила в субширотном направлении. При этом получается, что наибольшие

изменения максимальных касательных напряжений доходят до 0.5% от фоновых.

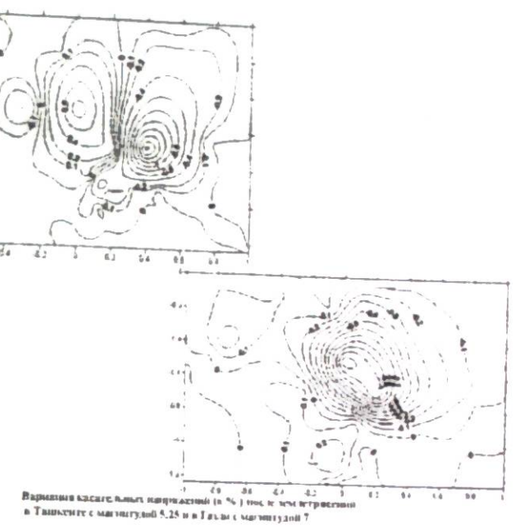


Рис. 10

Заключение

В результате исследования влияния сильных землетрясений региона на возможность возникновения сейсмической активизации в различных сейсмоактивных зонах, отстоящих на значительном удалении от очага происшедшего землетрясения, получены следующие выводы.

1. Установлено, в каких из сейсмоактивных зон территории Узбекистана вероятней всего ожидать сейсмическую активизацию, в случае возникновения сильных землетрясений в высоко энергетичных сейсмоактивных зонах Центральной Азии.

2. Показано, что относительные изменения максимальных касательных напряжений в различных частях региона после сильных землетрясений достигают довольно заметных отклонений от фоновых значений и сильно зависят от ориентации активизированного разлома по отношению к направлению структуры, в которой расположен очаг инициирующего землетрясения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абидов А. А., Атабеков И. У., Долгополов Ф. Г., Ходжиметов А.И. Численное геодинамическое моделирование палеорифтовой системы востока Туранской платформы //Докл. АН РУз, Ташкент: №12, 1996, с. 44-46.

2. Гзовский М. В. Основы тектонофизики. М.: Изд. «Наука», 1964. 536 с.

3. Касахара К. Механика землетрясений. Москва: Изд. «Мир», 1985, С. 72-73.

4.Уломов В.И. Динамика земной коры и прогноз землетрясений. Ташкент: Изд. «Фан», 1974, 215 с.

УДК 539.215

ДЕФОРМАЦИЯ МРАМОРА

Б.А. Рычков, Н.М. Комарцов, М.А. Кулагина
КРСУ, г. Бишкек, Кыргызская Республика

Дается анализ экспериментальных данных для мрамора. Цилиндрические образцы были испытаны по схеме Т. Кармана. Реализовано сложное нагружение. Сначала создавалось гидростатическое давление. Затем увеличивалась осевая нагрузка. Представлены графически значения осевой деформации. Эти экспериментальные данные использованы для определения механических характеристик мрамора.

Ключевые слова: деформация, напряжение, модуль упругости, закон Гука, мрамор, упрочнение

МРАМОРДУН МАЙЫШУУСУ

Б.А. Рычков, Н.М. Комарцов, М.А. Кулагина
КРСУ, Бишкек шары, Кыргыз Республикасы,

Эксперименталдык маалыматтарды анализдөө мрамор тоо-теги үчүн берилген. Цилиндрдик үлгүлөр Карман схемасы боюнча тажырыйбалык сыноодон өткөрүлдү. Татаал түрдегү жүктөө ишке ашырылды. Эң алгач гидростатикалык басым түзүлгөн. Андан кийин бир багыттуу жүктөө көбөйтүлгөн. Багыттуу майышуунун маанилери график түрүндө көрсөтүлдү. Бул тажырыйбалык маалыматтар мрамордун механикалык көрсөткүчтөрүн аныктоо үчүн пайдаланылды.

Өзөктүк сөздөр: майышуу, чыңалуу, серпилгичтик модулу, Гуктун мыйзамы, мрамор, бекемделүү

DEFORMATION OF MARBLE

B.A. Rychkov, N.M. Komartsov, M.A. Kulagina
KRSU, Bishkek, Kyrgyz Republic

The analysis of experimental data for marble is given. Cylindrical samples were tested according to the T. Karman scheme. Complex loading is realized. First, hydrostatic pressure was created. Then the axial load increased. The values of axial deformation are graphically represented. These experimental data were used to determine the mechanical characteristics of marble.

Key words: deformation, stress, modulus of elasticity, Hooke's law, marble, strengthening.

Введение

Поведение горных пород в массиве моделируется в лабораторных условиях неравномерным трехосным сжатием стандартных образцов по схеме Т. Кармана. В результате таких испытаний для разнообразных пород определяются их механические свойства [1, 2, 3, 4], которые затем используются при решении прикладных задач разработки полезных ископаемых.

В данной работе рассмотрены экспериментальные данные для мрамора [1], полученные при испытании цилиндрических образцов путем предварительного гидростатического давления (1-ый этап нагружения) с последующим приращением осевого давления при достигнутом постоянном боковом давлении (2-ой этап нагружения). Как и в других подобных испытаниях [5, 6] обычно фиксируется только приращение осевой деформации, вызванное приращением осевой нагрузки (соответствующей второму этапу нагружения). Это обстоятельство приводит к затруднению при определении упругих свойств материала. В данном сообщении исследована применимость обобщенного закона Гука, что позволило достоверно выделить из экспериментально наблюдаемой деформации неупругую ее составляющую при напряжениях, превышающих пределы упругости. Возникающее при этом деформационное упрочнение отображается концепцией скольжения в трактовке М.Я. Леонова и учетом дилатансии в соответствии с гипотезой В.В. Новожилова о всестороннем характере разрыхления.

1. Исходные данные [1] и определение упругих констант горной породы. При предварительном гидростатическом давлении образцов мрамора до некоторого уровня (обозначаемого в оригинале P_H) фиксировались значения главных напряжений (σ_i, $i=1,2,3$). Затем увеличивалось осевое напряжение σ_1 при достигнутых главных напряжениях $\sigma_2=\sigma_3=const$ и регистрировалось только приращение осевой деформации (обозначаемого в оригинале ε), что представлено на рис. 1. В отличие от полухрупких горных пород, таких как диорит и перидотит (поведение которых представлено в предыдущем сообщении [7]), мрамор при нагружениях за пределы упругости обладает значительной составляющей неупругой деформации, сопоставимой с наблюдаемой у пластичных материалов.

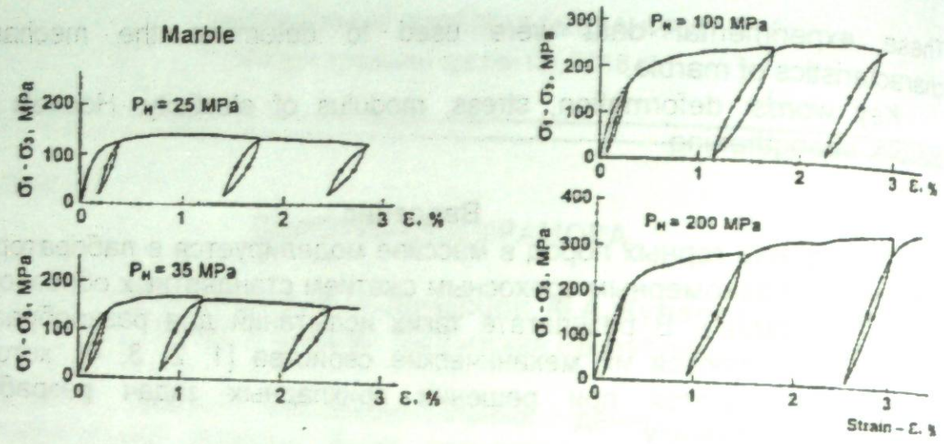


Рис. 1. Экспериментальные зависимости приращения осевой деформации от приращения осевого напряжения при различных боковых давлениях

Выявление этой неупругой составляющей из общей деформации требует предварительного, адекватного опыту, определения упругой деформации до соответствующего условного предела упругости. Такая процедура разделения общей деформации на упругую и неупругую составляющие подробно изложена в [7]. Представлены доказательства того, что для начально изотропного материала в рассматриваемых случаях нагружения можно использовать обобщенный закон Гука в виде:

$$\Delta e_1 = \frac{\Delta\sigma_1}{E}\left[1-2c\nu\right],$$

$$\Delta e_2 = \frac{\Delta\sigma_1}{E}\left[c-\nu\left(1+c\right)\right]. \qquad (1)$$

где $\Delta\sigma_1$ – приращение осевого напряжения; $\Delta e_1, \Delta e_2$ – приращения осевой и поперечной упругих деформаций соответственно; E – модуль Юнга; ν – коэффициент Пуассона; $c=\sigma_2/\sigma_1$ – параметр, характеризующий вид напряженного состояния.

Экспериментальные диаграммы $\Delta e_1(\Delta\sigma_1)$ при фиксированном боковом давлении являются нелинейными, поскольку с изменением уровня напряжений изменяется вид напряженного состояния. Поэтому, для определения упругих констант достаточно выбрать на такой диаграмме две точки, близкие к пределу упругости и к началу координат, что согласно (1) доставляет два уравнения относительно E и ν. После использования всех исходных диаграмм, в результате усреднения вычисляемых величин получены следующие значения констант: $E=51563\ МПа$, $\nu=0{,}273$.

На рис. 2 в качестве примера для диаграммы $\Delta e_1(\Delta\sigma_1)$ при боковом давлении $\sigma_2=\sigma_3=200МПа$ указана расчетная упругая деформация (линия 1) и полная экспериментальная диаграмма (линия 2) за пределом упругости. Условный предел упругости устанавливался по методу экстраполяции Лоде [8]: величина предела текучести (отождествляемого с пределом упругости) определяется из условия сопряжения задаваемой аналитической зависимости между упруго-пластическими деформациями и напряжениями с гуковской зависимостью. В рассматриваемом случае такая аналитическая зависимость (аппроксимирующая экспериментальную диаграмму) принималась заданием линии тренда (линия 3 (пунктир), рис. 2) в виде полинома шестой степени. Значения устанавливаемых таким методом условных пределов упругости при всех боковых давлениях приведены в таблице 1.

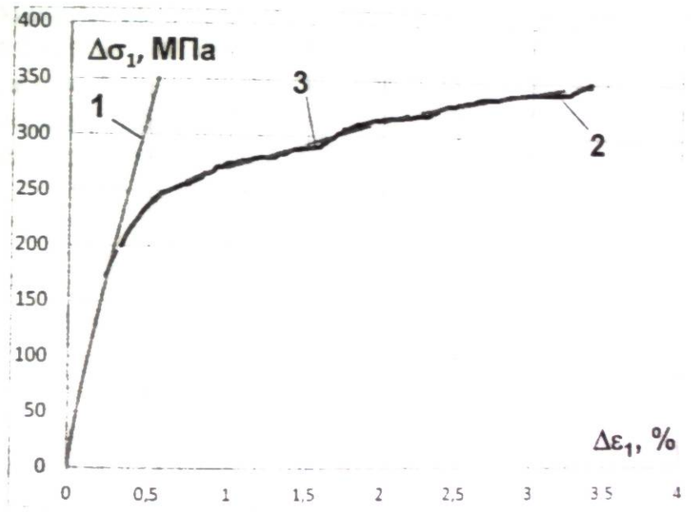


Рис 2. Определение условного предела упругости по методу экстраполяции Лоде для диаграммы $\Delta\varepsilon_1(\Delta\sigma_1)$ при боковом давлении $\sigma_2=\sigma_3=200МПа$

Таблица 1. Пределы упругости $\Delta\sigma_{1y}$ при различных боковых давлениях

$\sigma_2, МПа$	25	35	100	200
$\Delta\sigma_{1y}, МПа$	95	110	140	175

2. Определение параметров деформационного упрочнения. Общая деформация (ε_i) разделяется на упругую (e_i) и неупругую (Γ_i) ($i=1,2,3$) составляющие.

Неупругую деформацию будем искать (как предложено в [9]) в виде:

$$\Gamma_{11} = \varepsilon_{11} - e_{11} = (1 - \lambda)\Gamma_{11}^0,$$

$$\Gamma_{22} = \varepsilon_{22} - e_2 = -(\frac{1}{2} + \lambda)\Gamma_{11}^0, \qquad (2)$$

где Γ_{11}, Γ_{22} – главные неупругие деформации, λ – коэффициент разрыхления, Γ_{11}^0 – чисто пластическая составляющая неупругой деформации.

В формуле (2) учтено, что полная неупругая деформация составляется из чисто пластической Γ_{11}^0 (не вызывающей изменение объема тела) и деформации разрыхления Γ_{11}^θ, которая, согласно гипотезе Новожилова В.В. [10] о всестороннем распространении разрыхления, принимается (как и ранее [9]) в виде:

$$\Gamma_{11}^\theta = \Gamma_{22}^\theta = \Gamma_{33}^\theta = -\lambda\Gamma_{11}^0. \qquad (3)$$

Как вытекает из подобных экспериментальных данных, представленных в монографии [5], при достижении предела прочности на втором этапе нагружения величина поперечной деформации образца по модулю становится примерно равной продольной деформации этого образца. Принимая это условие, получим следующее соотношение

$$\Gamma_{11}^0 = \frac{2}{3}(2\Delta\varepsilon_1 - \Delta e_1 + \Delta e_2). \qquad (4)$$

Задавая экспериментальные ($\Delta\varepsilon_1$) и расчетные (Δe_1, Δe_2) значения деформаций при всех осуществленных в опыте боковых давлениях, получим зависимость $\Gamma_1^0\left(\frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\sigma_{1y}}\right)$, которая представлена на рис. 3. Для дальнейших расчетов эта зависимость принимается в следующем виде:

$$\Gamma_1^0 = 4{,}15 \cdot \left(\frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\sigma_{1y}} - 1\right)^2. \qquad (5)$$

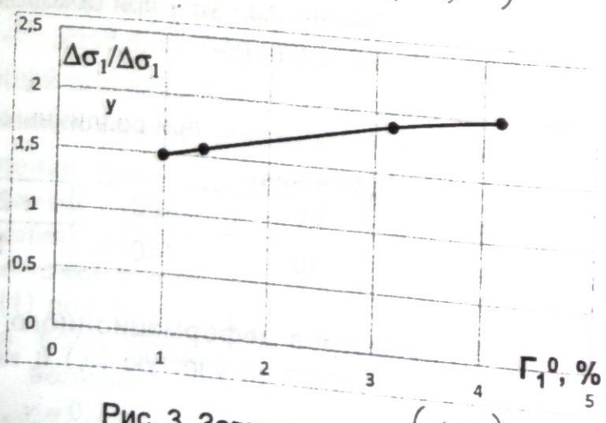


Рис. 3. Зависимость $\Gamma_1^0\left(\frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\sigma_{1y}}\right)$

Из предыдущих зависимостей получим выражение для коэффициента разрыхления

$$\lambda = \frac{\Delta e_1 + \Delta e_2 + 0{,}5 \cdot \Gamma_1^0}{2 \cdot \Gamma_1^0}. \qquad (6)$$

Соответствие теории эксперименту достигается в данном случае при $\lambda = 0{,}33$. Это значение коэффициента разрыхления для мрамора примерно в два раза меньше чем для диорита и перидотита, что еще раз подчеркивает большую пластичность мрамора.

Итоговое сопоставление расчетных и экспериментальных диаграмм деформации мрамора при сложном нагружении представлено на рис. 4.

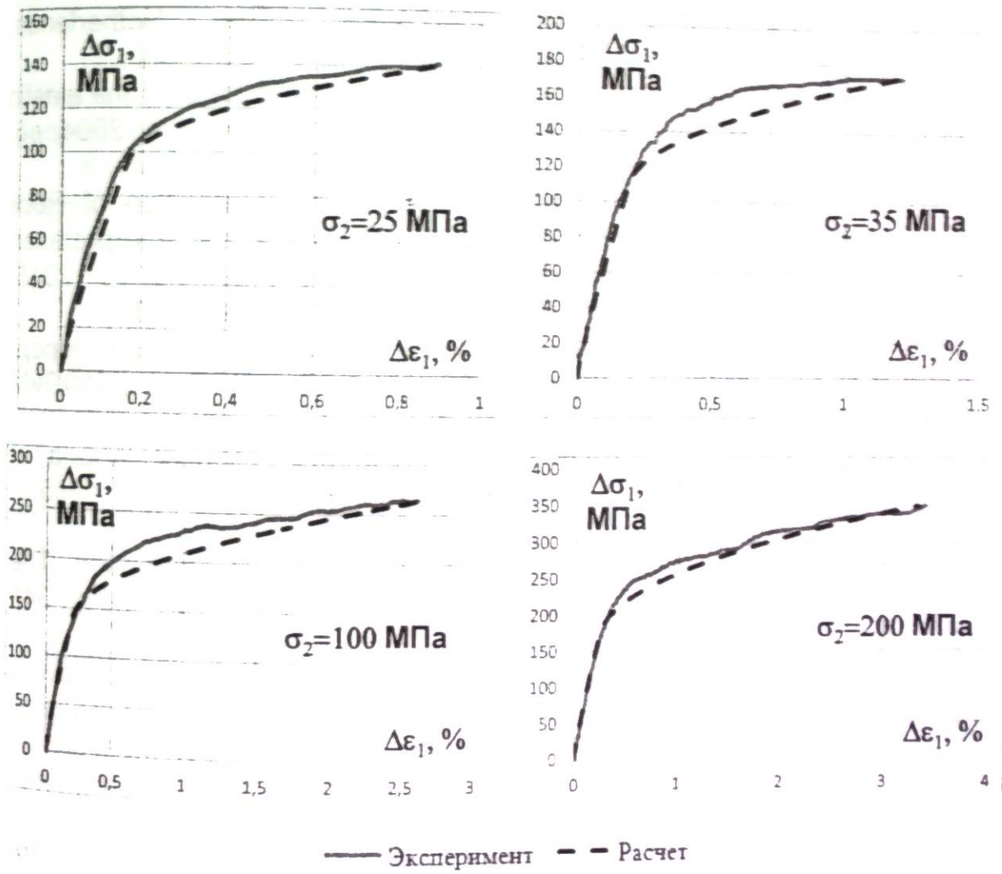


Рис. 4. Экспериментальная и расчетная зависимости $\Delta\varepsilon_1(\Delta\sigma_1)$ для мрамора при различных боковых давлениях

Заключение

Таким образом, как при пропорциональном нагружении, так и при сложном нагружении упругая деформация горных пород (начально изотропных в исходном состоянии) характеризуется модулем Юнга и коэффициентом Пуассона как действительными константами материала. С достаточным приближением к эксперименту деформационное упрочнение мрамора отображается концепцией скольжения в трактовке М.Я. Леонова и учетом дилатансии материала в соответствии с гипотезой В.В. Новожилова о всестороннем разрыхлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mogi K. Experimental rock mechanics. The Netherlands, Taylor&Francis/Balkema, 2007 – 380 p.
2. N. A. Al-Shayea. Effects of testing methods and conditions on the elastic properties of limestone rock // Engineering Geology. Vol. 74. 2004. pp. 139–156.
3. Hao Xu, Wen Zhou, RunchengXie, et al., "Characterization of Rock Mechanical Properties Using Lab Tests and Numerical Interpretation Model of Well Logs," Mathematical Problems in Engineering, vol. 2016, Article ID 5967159, 13 pages, 2016. doi:10.1155/2016/5967159.
4. Стефанов Ю.П. Нелинейные эффекты поведения горных пород. [Текст] Ю.П. Стефанов // Физическая мезомеханика. Томск: ИФПиМ СО РАН. – 2016. – Т. 19, № 6. – С. 54-61.
5. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. - М.: Недра, 1985. - 271 с.
6. Paterson M.S., Wong Teng-fong Experimental Rock Deformation- The Brittle Field – Berlin, Heidelberg, New York. Springer-Verlag. 2005. 348 p.
7. Комарцов НМ., Рычков Б.А., Кулагина М.А. Упругое и неупругое поведение горных пород при трехосном сжатии // Материалы Первого Международного симпозиума «Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений: измерение деформаций, остаточных и действующих напряжений в горных породах», г. Бишкек, 21-23 сентября 2016 г. – Бишкек: НАН КР, 2016. – С. 148-155.
8. Поль Б. Макроскопические критерии пластического течения и хрупкого разрушения. Гл. 4 в кн.: Разрушение. Т. 2. Математические основы разрушения. – М., 1975. – С. 336-380.
9. Рычков Б.А. О деформационном упрочнении горных пород // Известия РАН. Механика твердого тела. №2. 1999. С. 115-124.
10. Новожилов В.В. О пластическом разрыхлении // ПММ, Т. 29. № 4. 1965. - С. 75 – 83.

УДК 539.215

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕСЧАНИКА

Рычков Б.А., Степанова Ю.Ю.
КРСУ, г. Бишкек, Кыргызская Республика

Проанализировано поведение песчаника. Использован закон Гука. Предложен новый метод определения упругих постоянных материала. Теория согласуется с экспериментом.

Ключевые слова: деформация, напряжение, модуль упругости, закон Гука, песчаник

КУМАК ТОО-ТЕКТИН ЧЫҢАЛУУ - МАЙЫШУУ АБАЛЫНА ГИДРОСТАТИКАЛЫК БАСЫМДЫН ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ

Рычков Б.А., Степанова Ю.Ю.
КРСУ, Кыргыз Республикасы, Бишкек шаары

Кумак тоо-тектин жүрүмү анализден өткөрүлдү. Гуктун мыйзамы колдонулду. Материалдардын серпилгичтик туруктуу көрсөткүчтөрүн аныктоонун жаңы ыкмасы сунушталды. Теория тажырыйба менен дал келет.

Өзөктүк сөздөр: майышуу, чыңалуу, серпилгичтик модулу, Гуктун мыйзамы, кумак тоо-тек.

Effect of hydrostatic pressure on stress-strain state of sandstone

Rychkov B.A., Stepanova Yu.Yu.
KRSU, Bishkek, Kyrgyz Republic

The behavior of sandstone is analyzed. Hooke's law was used. A new method for determining the elastic constants of a material is proposed. The theory is consistent with experiment.

Key words: deformation, stress, modulus of elasticity, Hooke's law, sandstone.

Введение

При проведении горных работ значительные усилия затрачиваются для изучения механического поведения горных пород. Их деформация является результатом изменения и разрушения определенных связей в микроструктуре материала, подвергаемого нагрузке. С макроскопической точки зрения, ее можно оценить по упругим и прочностным характеристикам, которые устанавливаются в лабораторных условиях при испытании цилиндрических образцов по схеме Т. Кармана, моделирующих поведение породы в массиве.

Получаемые при таких нагружениях диаграммы продольной и поперечной деформации цилиндрических образцов используется для определения упругих констант материала и степени деформационного упрочнения при неравномерном трехосном сжатии.

Данная работа посвящена моделированию упругой области диаграмм деформации песчаников. Использованы исходные экспериментальные данные, полученные при испытании стандартных цилиндрических образцов песчаника на сертифицированном оборудовании в Институте горного дела СО РАН и предоставленные КРСУ в рамках договора о сотрудничестве. Кроме того рассмотрены известные результаты [1] испытаний песчаников: выбрасоопасного, не опасного по выбросам (Донбасс) и песчаника П-026 (Кизеловский бассейн). а диаграмме деформации (особенно) для песчаников наблюдается начальный нелинейный участок. Некоторые исследователи [2, с.73] считают, что наклон такой кривой «напряжение - деформация» определяет модуль упругости Юнга. При этом подчеркивают, что численное значение модуля зависит от напряжения, а при последовательном нагружении и разгружении образца породы зависит и от цикла испытания, так как указанные кривые при нагружении и разгрузке не совпадают между собой. Иначе говоря, утверждается, что на отмеченном нелинейном участке диаграммы происходит упругая деформация. Аналогичное утверждение относится и к определению коэффициента Пуассона. Другие экспериментаторы [1,3] предлагают исключать из рассмотрения такой начальный участок, а упругие параметры породы определять при более высоких уровнях напряжения, когда зависимость «напряжение - деформация» становится близкой к линейной. Однако до сих пор нет общепринятой методики определения упругих констант пород даже при пропорциональном нагружении. Разработаны только методы определения упругих свойств горных пород при одноосном сжатии согласно стандартам DIN EN14580 [4], ASTM D 7012-10 [5] и ГОСТ 28985-97 [6].

В данном сообщении сделана попытка устранить указанные противоречия в данном вопросе, чем и определяется актуальность исследования.

1. Анализ экспериментальных данных песчаника

Стандартные цилиндрические образцы песчаника[1] испытаны на неравномерное трёхосное сжатие по схеме Т. Кармана, когда вначале создавалось гидростатическое давление, а затем производилось приращение только осевого давления. Была произведена сортировка имеющихся значений продольной (ε_z) и поперечной (ε_ϕ) деформаций для группы из 16-ти образцов по соотношению между этими деформациями на уровне зафиксированного максимального гидростатического давления (при осевом напряжении σ_z и окружном напряжении σ_ϕ, ($\sigma_z \approx \sigma_\phi \approx 17\text{МПа}$)). Далее следовала догрузка осевым напряжением σ_z при $\sigma_\phi \approx const$ (т.е. при равномерном достигнутом боковом давлении). Отражена также и промежуточная разгрузка образца, осуществляемая от напряжения, превышающего уровень гидростатического давления, и при его снижении вновь до уровня гидростатического давления; после чего продолжалось монотонное приращение осевого напряжения до предела прочности (т.е. до максимального значения σ_z), а затем фиксировалось так называемая ниспадающая ветвь диаграммы деформации вплоть до разрушения образца. В данном сообщении проанализирован участок такой полной диаграммы до условного предела упругости.

Анализ диаграмм деформаций для всех 16 - ти образцов показал, что при достижении уровня гидростатического давления можно разделить их на три группы по соотношению полученной продольной и поперечной деформации. В первой подгруппе значение поперечной деформации при указанном уровне напряжения примерно равно значению продольной деформации $\frac{\varepsilon_\varphi}{\varepsilon_z} = 1$ (4 образца). Во второй подгруппе отношение этих деформаций примерно равно 0,5 (6 образцов), в третьей – 0,25 (6 образцов). Анализ имеющейся для четырёх образцов промежуточной разгрузки указывает на начальную перестройку структуры породы, связанную с уплотнением материала. В качестве примера приведена такая диаграмма на рис.1 для образца №2.

Как видно, при разгрузке до уровня гидростатического давления деформация этого образца не исчезает до исходного её значения при гидростатике, т.е. возникает остаточная деформация. При повторном нагружении образуется петля гистерезиса, после окончания которой диаграмма повторной деформации плавно продолжается как в случае отсутствия промежуточной разгрузки. Именно до этого уровня осевого напряжения наблюдается начальный нелинейный участок диаграммы деформации. Следовательно, этот участок нельзя использовать для определения упругих констант материала. Поэтому было произведено

[1] Экспериментальные данные предоставленные ИГД СОРАН в соответствии с договором о сотрудничестве

сравнение диаграмм продольной деформации всех образцов при уровне осевого напряжения, на котором заканчивается уплотнение материала. Эта область диаграммы устанавливается путём аппроксимации установившегося её участка и сопряжением его с начальным нелинейным участком.

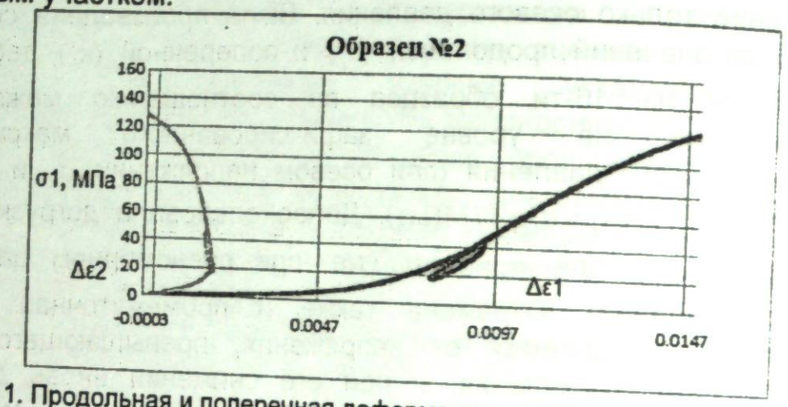


Рис. 1. Продольная и поперечная деформация с промежуточной разгрузкой образца №2

После анализа диаграмм деформаций для каждой из подгрупп в отдельности оказалось целесообразным установить усредненную диаграмму для продольной деформации для всех образцов в совокупности.

В качестве некоторого эталонного образца для сравнения с каждым конкретным выбран образец № 3. Выделен участок установившейся продольной деформации, с которым сопоставлены соответствующие участки диаграмм всех других образцов.

Установлено, что расхождение между эталонным и каждым конкретным образцом находится в пределах разброса экспериментальных данных. Поэтому построена усредненная диаграмма приращения продольной деформации для установившегося участка с целью её использования при дальнейшем определении упругих констант. Правомерность использования такой усредненной диаграммы доказывается вычислением коэффициента вариации ($К_в$) при сопоставлении с каждым конкретным образцом. В зависимости от образцов в каждой из подгрупп коэффициент $К_в$ изменялся от **12,1% - 23,3%.**

Наибольшее отклонение от усредненной диаграммы (судя по коэффициенту вариации) имеется при малом приращении осевого напряжения. Поэтому для определения упругих констант необходимо использовать участок диаграммы выше указанного уровня напряжения.

2. Метод определения упругих констант по экспериментальным данным сложного нагружения

Выявленный участок диаграммы продольной упругой деформации использован для определения упругих констант материала (модуля

Юнга - E и коэффициента Пуассона - ν). Для этого принимается закон Гука в предположении начальной изотропности материала:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E}(\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)), \tag{1}$$

который можно представить в следующем виде:

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E}(1 - 2C\nu), \tag{2}$$

Здесь $\sigma_i \quad (i = 1,2,3)$ - главные напряжения, в соответствии с рассматриваемой траекторией нагружения $\sigma_1 \equiv \sigma_z$, $\sigma_2 = \sigma_3 \equiv \sigma_\varphi$, $C = \sigma_2 / \sigma_1$ - параметр вида напряженного состояния.

В случае пропорционального нагружения, т.е. при $C = const$ формула (2) справедлива и для приращений $\Delta\sigma_1, \Delta\varepsilon_1$:

$$\Delta\varepsilon_1 = \frac{\Delta\sigma_1}{E}(1 - 2C\nu), \tag{3}$$

Согласно основному постулату теории упругости связь между напряжением и упругой деформацией не зависит от истории нагружения и определяется их значениями в рассматриваемый момент времени. На этом основании согласно формуле (3), задавая два значения $\Delta\sigma_1$ и соответствующие им приращения $\Delta\varepsilon_1$, получим два уравнения для определения E и ν. Для проверки получаемых таким образом значений констант E и ν необходимо установить расчетное значение поперечной деформации, определяемой в рассматриваемом случае законом Гука в виде:

$$\Delta\varepsilon_2 = \frac{\Delta\sigma_1}{E}[C - \nu(1 + C)]. \tag{4}$$

Предельное значение рассматриваемого приращения осевого напряжения соответствует условному пределу упругости (σ_{1y}), который определялся согласно [7]. В данном случае для усредненной диаграммы $\Delta\varepsilon_1(\Delta\sigma_1)$ $\sigma_{1y} = 120\,МПа$

Используем вначале формулу только для продольной деформации (3), задавая два значения приращения напряжения $\Delta\sigma_1$ $(\Delta\sigma_1 = 7,6194\,МПа, \Delta\sigma_1 = 14,7426\,МПа)$ и соответствующие им значения приращения осевой деформации $\Delta\varepsilon_1$ $(\Delta\varepsilon_1 = 0,0005, \Delta\varepsilon_1 = 0,001)$ при двух значениях параметра вида напряженного состояния $(C_1 = 0,4911,\ C_2 = 0,4072)$. Из полученной таким образом системы двух уравнений относительно E и ν, найдено: $E = 12732,6\,МПа, \nu = 0,1674$. При этом расчетная диаграмма $\Delta\varepsilon_1(\Delta\sigma_1)$ находится в соответствии с усредненной экспериментальной диаграммой приращения продольной

деформации. Однако, при таких значениях констант E и ν приращение поперечной деформации $\Delta\varepsilon_2$, согласно формуле (4), оказалось положительным, тогда как в эксперименте $\Delta\varepsilon_2<0$. Следовательно, предположение об изотропности материала в рассматриваемом состоянии данной горной породы неправомерно. Более приемлемым считается предположение об ортотропности подобных горных пород [8,9,10]. Это обстоятельство подтверждено и при исследовании поведения талькохлорита при сложном напряженном состоянии [11]. В исследуемом случае сложного нагружения указанная анизотропия (ортотропность) горной породы возникает после гидростатического давления, о чем можно судить по соотношению между продольной и поперечной деформациями.

Таким образом, для определения упругих параметров ортотропного материала можно использовать обобщенный закон Гука в виде:

$$e_1=\frac{1}{E_1}\sigma_1-\frac{\nu_{21}}{E_2}\sigma_2-\frac{\nu_{31}}{E_3}\sigma_3,\ e_2=\frac{1}{E_2}\sigma_2-\frac{\nu_{12}}{E_1}\sigma_1-\frac{\nu_{32}}{E_3}\sigma_3,$$

$$e_3=\frac{1}{E_3}\sigma_3-\frac{\nu_{13}}{E_1}\sigma_1-\frac{\nu_{23}}{E_2}\sigma_2,\ (E_i,\nu_{ij}-const,i,j=1,2,3) \qquad (5)$$

Из этих зависимостей, задавая экспериментальные значения σ_1,e_1,e_2 для каких-либо двух напряженных состояний С на упругом участке деформирования, найдены следующие константы и их комбинации:

$$E_1,\nu_{12}=\nu_{13},\left[\frac{\nu_{21}}{E_2}+\frac{\nu_{31}}{E_3}\right]^{-1},\left[\frac{1}{E_2}-\frac{\nu_{32}}{E_3}\right]^{-1}=\left[\frac{1}{E_3}-\frac{\nu_{23}}{E_2}\right]^{-1} \qquad (6)$$

Их значения оказались такими, что $E_1=E$, $\nu_{12}=\nu$, т.е. обобщенная константа $\left[\frac{\nu_{21}}{E_2}+\frac{\nu_{31}}{E_3}\right]^{-1}=\left[\frac{2\nu}{E}\right]^{-1}$, а константа $\left[\frac{1}{E_2}-\frac{\nu_{32}}{E_3}\right]^{-1}=87335,6МПа^{-1}$.

В результате достигнуто соответствие расчётных и экспериментальных как продольной, так и поперечной деформации (рис.2).



Рис.2. Сравнение экспериментальных (точки) и расчетных (сплошные линии) диаграмм на установившемся участке упругого деформирования

Вывод

Представленный метод определения упругих констант материала, применительно к песчанику, достаточно хорошо соответствует экспериментальным данным в пределах их разброса. При этом в условиях сложного нагружения выделяется область действительно упругой деформации. Значения найденных упругих констант данного песчаника необходимы для последующего правильного разделения общей его деформации на упругую и неупругую составляющие и определения параметров деформационного упрочнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. М.: «Недра», 1979. 301с.
2. Введение в механику скальных пород: пер. с англ./Под редакцией Х.Бока М.: «Мир», 1983. 276 с.
3. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. М.: «Недра», 1985. 271 с.
4. DIN EN14580: 2005 Prufverfahren fur Naturstein – Bestimmung des statischen Elastiztatsmodulus. - Berlin: Deutsches Institut fur Normumge. V., 2005.
5. ASTM D 7012-10. Standart test method for compressive strength and varying moduli of intact rock core specimen under varying states of stress and temperatures. - West Conshohocken: ASTM international, 2010.
6. ГОСТ 28985-97. Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 10с.
7. Михайлов-Михеев П.Б. Справочник по металлическим материалам турбино- и мотостроениия. М.: МАШГИЗ. 1961. 838 с.
8. Капустянский С.М., Николаевский В.П. Количественная формулировка упругопластической дилатансионной модели (на примере песчаника) // Изв. АН СССР. МТТ. 1984. №4С. 113-123.
9. Зарецкий - Феоктистов Г.Г. Об экспериментальных кривых деформирования горных пород в сложном напряженном состоянии // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1989. № 6 С. 43-49.
10. Капустянский С.М., Упругопластическая дилатансионная модель анизатропных сред // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1985. № 8 С. 50-59.
11. Рычков Б.А. О деформационном упрочнении горных пород // Известия РАН. МТТ. №2 1999, 115-124с.

УДК 550.34.063

СИЛЬНЫЕ ГОЛОЦЕНОВЫЕ ПАЛЕОЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ КАРЕЛЬСКОГО БЕРЕГА БЕЛОГО МОРЯ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ИХ СЛЕДОВ В РЕЛЬЕФЕ

Е.С. Горбатов, А.А. Сорокин
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

В районе работ выявлены ареалы вторичных сейсмовибрационных дислокаций, представляющих систематические смещения и развороты скальных блоков в зонах структурно-денудационных уступов и на вершинных поверхностях. Показано, что в ЮЗ борту Кандалакшского грабена в голоцене возникали крайне мелкофокусные землетрясения с M≤5, отличающиеся высокой сейсмической интенсивностью.

Ключевые слова: Сильные палеоземлетрясения, вторичные палеосейсмодислокации, блоковые смещения и развороты, кинематические индикаторы, ледниковая денудация, Кандалакшский неотектонический грабен, Белое море.

STRONG GOLOCENE PALEOEARTHQUAKES OF THE KARELIAN COAST OF THE WHITE SEA AND THE PECULIARITIES OF THE IMPLEMENTATION OF THEIR TRACES IN THE RELIEF

E.S. Gorbatov, A.A. Sorokin
Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

In the area of the work, the areas of secondary seismovibrational dislocations representing systematic displacements and turns of rock blocks in zones of structural-denudational hitches and on vertex surfaces have been identified. It is shown that extremely small-focus earthquakes with M≤5, which are characterized by high seismic intensity, appeared in the SW of the Kandalaksha graben in the Holocene.

Key words: Strong paleoearthquakes, secondary paleoseismodislocations displacement and rotation of rock blocks, kinematic indicators, glacial denudation, Kandalaksha neotectonic graben, White Sea

Введение

Оценки сейсмической опасности территории (*ОСР-97, ОСР-2016*), как правило, строятся на статистически достоверных наблюдениях над инструментальной сейсмичностью. Однако невысокая длительность рядов сейсмологических данных (100 лет) демонстрирует важность использования не только каталогов исторических землетрясений (длительность наблюдения около 1 000 лет), но и привлечения сведении о палеоземлетрясениях (временной охват на Северо-Западе России около 15 000 лет), следы которых сохраняются в рельефе, строении скальных массивов и четвертичных отложениях. Объективным источником информации о параметрах сейсмических событий прошлого (интенсивность, глубина очага, магнитуда, возраст) служат сейсмодислокации в рельефе и сейсмогенные деформации рыхлых осадков (сейсмиты), однако для их выделения в перигляциальных регионах, таких как Балтийский кристаллический щит, существует ряд методических трудностей.

Так, в современном рельефе Балтийского кристаллического щита отчетливо выражена разломно-блоковая морфоструктура, которая может быть как проявлением в послеледниковое время на границах сегментов кристаллического фундамента дифференцированных движений, так и экзарационной проработки докембрийских структурных неоднородностей в поздечетвертичное время. Разрывные нарушения выражены в виде линейных элементов рельефа – спрямленных участков речных долин и береговых линий, ущелий, рвов, уступов. В этих зонах концентрируются локальные скальные дислокации в виде расщелин, зияющих трещин, блоковых смещений, обвалов и столбов отседания, наиболее доступных для изучения в областях развития расчлененного денудационно-тектонического рельефа, лишенных сплошного покрова ледниковых отложений.

В последние десятилетия наметилась тенденция к однозначному отнесению некоторыми исследователями подобных нарушений рельефа за счет сильных сейсмических воздействий [1, 2, 3, 4]. Это явилось серьезным аргументом для существенного повышения уровня сейсмической опасности Северо-Запада России, где уже допускаются землетрясения с M = 6.5-8. Однако формирование данных нарушений может происходить как в результате воздействия палеоземлетрясений с умеренной магнитудой [5, 6], так и без участия сейсмических сотрясений.

Кроме того, многие типы нарушений в рыхлых отложениях, часто принимаемые за сейсмогенные, скорее всего, являются результатом экзогенных процессов, например, гляциальных селей, криотурбаций или конвективной неустойчивости в слоистых слабоконсолидированных осадках. В частности, нами было установлено, что внутрислойные складки в ленточных глинах Хибинского горного массива (Кольский п-

ов), описанные ранее как сейсмиты, скорее всего, возникли под действием селевого потока [7].

Одним из наиболее доступных и перспективных районов для выявления следов сильных палеоземлетрясений является ЮЗ побережье Кандалакшской губы Белого моря, сопряженной с Кандалакшским неотектоническим грабеном. На сейсмотектоническую активность этой структуры указывают протяженные и узкие ассиметричные зоны опускания (полуграбены), ограниченные с юго-востока сбросами, обнаруженными на сейсмоакустических разрезах дна по смещениям (амплитудой до 10-12 м) аномально мощных толщ голоценовых озерно-ледниковых и морских осадков [8].

Методика исследования

С целью выявления, параметризации и датирования сейсмодислокаций Карельского берега Белого моря использовался стандартный набор геоморфологических методов, включавший в себя дешифрирование аэрофото- и космоснимков, топографическую и структурно-геоморфологическую съемку на местности, проходку канав через коллювиальные накопления и их документирование, отбор проб погребенных палеопочв и их датирование радиоуглеродным методом.

В ходе применения этих методов решались следующие основные задачи:

1) Выявить и закартировать дислокации в скальных массивах;
2) Провести оценку их значимости как индикаторов палеосейсмичности, с обязательным исключением альтернативных, несейсмических механизмов формирования;
3) Оценить макросейсмические параметры палеосейсмических событий по морфологическим особенностям, размерам и характеру распространения сейсмодислокаций в эпицентральных областях;
4) Определить возраст палеоземлетрясений путем датирования сейсмодислокаций.

Как будет показано ниже особое значение в районе исследования для доказательства наличия следов сильных землетрясений, имеют блоковые смешения в зонах уступов и на вершинных поверхностях, которые при определенных условиях (массовость, систематичность) могут являться также кинематическими индикаторами сильных сейсмических воздействий. В ходе исследований опробован набор таких индикаторов (массовые смещения и систематические развороты скальных фрагментов), позволяющих восстанавливать направления и динамические параметры максимального сейсмического воздействия на детальных участках.

Нами документировались только те случаи блоковых смещений, когда соответствие между стенкой отрыва и краем отколотого фрагмента может быть надежно установлено по подобию их формы. В

ходе натурных наблюдений определялись следующие параметры: масса блоков (рассчитывалась по объему блоков и средней плотности пород), азимут вектора смещения, величины общего и вертикального смещения, угол и направление разворота, элементы залегания плоскости скольжения, простирание стенки отрыва.

Успешный опыт использования данных о систематическом вращении элементов зданий разного протирания при кинематической реконструкции сильных землетрясении [9], в то числе с целью локализации эпицентра, позволяет применить аналогичный подход для анализа наших замеров разворотов скальных отдельностей. Горизонтальное вращение блока вызывается приложенной к нему сдвиговой парой сил от сейсмической волны, пришедшей под углом к линейному элементу, в данном случае бровке уступа. Легко понять, что каждому из двух возможных направлений вращения соответствует два противоположных квадранта максимального сейсмического воздействия (преобладающего направления колебаний), построенных на пересечении линии простирания стенки отрыва и нормали к ней. Это наблюдение дает возможность установить искомые квадранты сейсмического воздействия для каждого развернутого блока. При большом количестве замеров на площади, графическим образом находится область пресечения квадрантов, которая позволяет локализовать эпицентр палеоземлетрясения.

Характеристика палеосейсмодислокаций

В ходе полевых работ в скальных массивах района п-ова Киндо нами обнаружены многочисленные линейные нарушения рельефа в виде уступов, расщелин, рвов, часто описываемых как сейсмотектонические нарушения [10]. Однако не было установлено явных признаков импульсных тектонических подвижек при их формировании, такие как смешения реперных поверхностей, маркируемых, например ледниковыми штрихами; борозды скольжения на стенках уступов; продолжения разрывов в перекрывающих рыхлых отложениях и т.п. Следовательно, данным линейным нарушениям некорректно приписывать сейсмотектоническое происхождение. Приуроченные к скальным уступам вывалы глыб, отседания каменных столбов, обвалы и другие нарушения с ведущей ролью гравитационной составляющей, также не могут быть аргументом в пользу наличия в районе исследований сильных сейсмических воздействий.

Вместе с тем, резкие, угловатые формы и отсутствие следов экзарационного и последующего абразионного сглаживания в некоторых структурно-денудационных уступах, например в районе восточных склонов г. Ругозерская, показывает, что уже после исчезновения ледника и поднятия территории выше уровня моря продолжалось их

обновление, которое вероятнее всего было результатом сейсмических процессов.

Собранные геоморфологические наблюдения позволили предложить принципиальную схему формирования уступов в результате выхватывания ледником скальных глыб, отделявшихся по плоскостям сланцеватости от скального массива. После образования уступы должны были быть оглажены морской абразией во время послеледникового поднятия территории и вновь обновлены в результате сейсмического сотрясения (рис. 1).

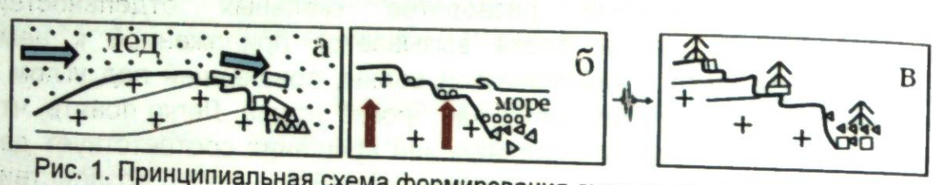


Рис. 1. Принципиальная схема формирования скальных уступов в результате избирательной экзарации скального выступа в тени ледникового потока (а), морской абразии при послеледниковой регрессии (б) и сейсмовибрационного воздействия с образованием блоковых смещений и обвалов (в).

В зонах уступов и на слабонаклонных вершинных поверхностях (район п-ова Киндо и пос. Малиновая Варакка) нами выявлены многочисленные выдвижения скальных блоков массой до 20 тонн со смещениями 10-50 см, в том числе против уклона плоскостей скольжения и против направления движения позднеплейстоценового покровного ледника (рис. 2). Этот факт позволяет исключить гравитационный и гляциодинамический механизм формирования блоковых дислокаций. Широкое раскрытие трещин в скальных породах, как правило, не характерно и для криогенных процессов, поскольку такие трещины могут расширяться лишь до тех пор, пока вода в них находится в пленочном виде. Единственным возможным объяснением формирования сильно раскрытых вертикальных трещин в рамках криогенеза могло бы быть циклическое заполнение морозобойных трещин водонасыщенным тонкодисперсным материалом, способным к температурной деформации при промерзании. Следов такого заполнения нами не обнаружено.

Таким образом, последовательное исключение экзогенных механизмов формирования блоковых смещений показывает, что наиболее вероятным механизмом их образования были сейсмовибрационные воздействия. Другим важным свидетельством сейсмогенной природы блоковых дислокаций в районе п-ова Киндо является одинаковые направления вращения сразу же трех блоков в уступах субмеридионального простирания, которое, по-видимому, не является случайным, и может быть связано с действием касательных напряжений, возникающих при горизонтальных колебаниях поверхности, направленных под углом к трещине отрыва.

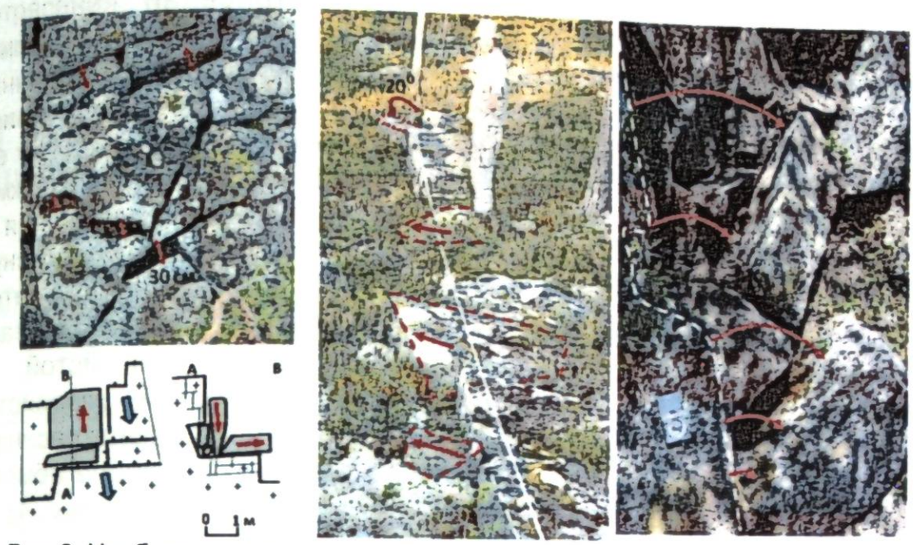


Рис. 2. Наиболее характерные признаки сейсмовибрационных воздействий на скальные массивы – массовые смещения (поступательные и с разворотом) блоков-фрагментов скальных уступов. Красными стрелками показаны направления смешения, синими – максимальный уклон.

В ходе полевых работ нами также выявлено смещение пластины гранитогнейсовых пород размером 40х50 м в прибрежной части острова Покормежный (восточная часть Кузокотского архипелага) с образованием в ее тыловой части рва растяжения, заполненного крупными угловатыми глыбами (рис. 3). Поверхность скольжения блока падет к морю под углом 8-10°, что недостаточно для гравитационного сползания блока без внешнего сотрясения. Кроме того, перпендикулярно к направлению смещения в основном скальном массиве выявлена свежая трещина отрыва, указывающая на формирование самого разрыва и блоковой дислокации в результате сейсмического воздействия, направленного в субширотно.

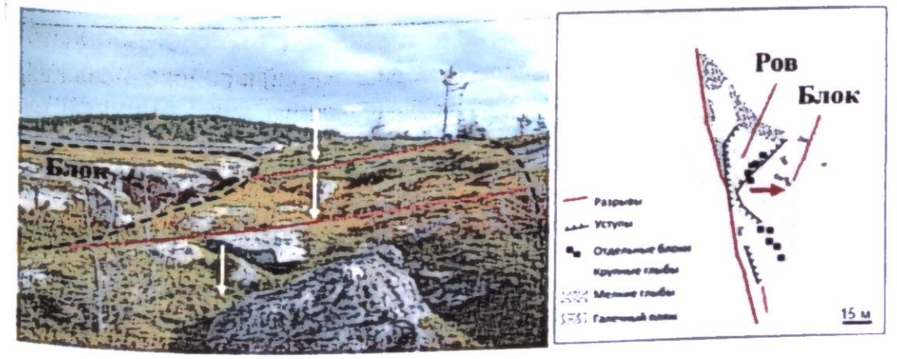


Рис. 3. Ров растяжения в тыловой части сместившегося по слабонаклонной поверхности скольжения скального блока в береговой зоне о. Покормежный

Основные параметры палеоземлетрясений

Наши исследования по району полуострова Киндо позволили выявить и закартировать замкнутый ареал вторичных палеосейсмодислокаций, который отличается увеличением концентрации и интенсивности сейсмогенных нарушений рельефа от его периферии к центру. Этот ареал имеет характерные размеры 10х6 км и представляет собой зону (4х2 км) развития трещин растяжения и многочисленных смещений скальных блоков, окруженную периферическим поясом сейсмогравитационных нарушений. С учетом макросейсмической шкалы MSK-64, внутренняя зона ареала палеосейсмодислокаций оконтурена *VIII*-балльной изосейстой, а внешняя – *VII*-балльной. Сильная вытянутость первой изосейсты, характерная для эпицентральных зон малоглубинных землетрясений, указывает на приуроченность эпицентра к предполагаемому сейсмогенерирующему разрыву в акватории Ругозерской губы (рис. 4).

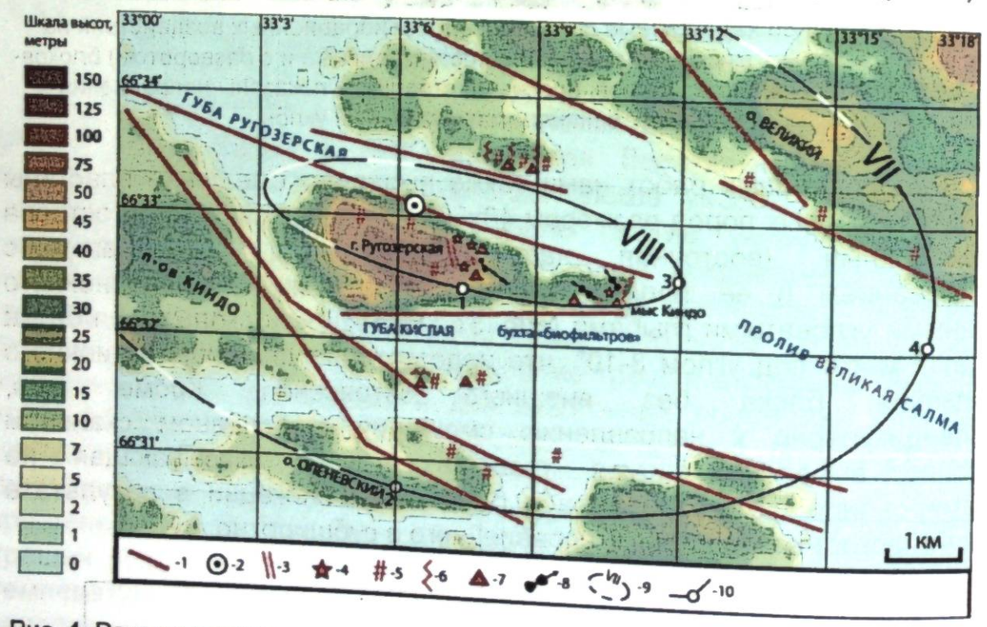


Рис. 4. Распределение вторичных палеосейсмодислокаций в районе п-ова Киндо и изосейсты палеоземлетрясения

1 – линеаменты; 2 – эпицентр палеоземлетрясения; 3 – трещины растяжения; 4 – блоковые смещения и развороты; 5 – площадное вибрационное растрескивание без смещения; 6 – рвы и расщелины с признаками сейсмического обновления; 7 – обвалы; 8 – наплавления максимального сейсмического воздействия по смещениям блоков (стрелки) и квадранты сейсмического воздействия по интерпретации систематических разворотов блоков; 9 – изосейсты и сейсмические баллы; 10 – точки для расчета глубины очага и магнитуды.

Для определения глубины очага и магнитуды палеоземлетрясения использовано уравнение макросейсмического поля [11] с усредненными коэффициентами затухания, описывающее зависимость балльности

сотрясения (I_i) в некоторой точке наблюдения от магнитуды (M), эпицентрального расстояния этой точки (R_i) и глубины очага (H):

$$I_i = 1.5M - 3.5\lg\sqrt{R_i^2 + H^2} + 3.$$

Из макросейсмического уравнения выведена формула разности интенсивности в двух точках наблюдения:

$$I_1 - I_2 = 3.5\lg\sqrt{\frac{R_2^2 + H^2}{R_1^2 + H^2}}.$$

Далее из полученной формулы было выражено H:

$$H = \sqrt{\frac{R_2^2 - aR_1^2}{a-1}}, \text{ где } a = 10^{(I_1 - I_2)/1.75}.$$

Подстановка параметров двух пар точек, лежащих на пересечениях изосейст с их короткими и длинными осями, дает H=1.9±0.2 км.

Для вычисления магнитуды палеоземлетрясения, макросейсмическое уравнение переписано в виде:

$$M = \frac{2}{3}I_i - 2 + \frac{7}{6}\lg(R_i^2 + H^2).$$

Подстановка в полученную формулу характеристик одной из двух расчетных точек, дает M = 4.4±0.2.

При определении возраста палеоземлетряснения необходимо учитывать, что согласно предложенной модели формирования скальных уступов (рис. 1.) блоковые нарушения на восточных склонах г. Ругозерская могли сформироваться только после выхода скального массива из-под уровня моря и прекращения абразионных процессов в ходе гляциоизостатического поднятия территории. Возраст этого события, согласно кривой гляциоизостатического поднятия п-ова Киндо [12], составляет 5.5 тыс. лет для нижних (наиболее выраженных) участков скальных дислокаций, расположенных на отметках 30 м н.у.м.

В тыловой части одной из ступеней восточного склона г. Ругозерская, рядом с предположительно выброшенной из вышележащего уступа глыбой (1х3 м) пройдена канава глубиной 50 см и из-под нижнего края глыбы отобрана проба палеопочвы (ГИН-14444) для радиоуглеродного датирования. Полученная датировка (2240±90 лет назад) соответствует нижнему пределу возраста обрушения глыбы, однако наличие пока единственной пробы погребенной почвы не может однозначно считаться нижним возрастным пределом предполагаемого сейсмического события, поскольку отдельная глыба могла вывалиться из уступа и случайно. Более надежные выводы должны быть сделаны в случае датирования сразу же нескольких обвалов и доказательства их синхронного образования с блоковыми смещениями.

Выводы

1. Показано, что отдельные уступы и ступенчатые нарушения в рельефе скальных массивов района исследований не являются приразломными сейсмотектоническими дислокациями, а относятся к проявлениям ледниковой денудации и последующей эрозионной проработки структурных неоднородностей с участием сейсмовибрационных воздействий.
2. Установлено, что комплекс обследованных структурно-денадуционных уступов имеет признаки сейсмического сотрясения в виде направленных субгоризонтальных выдвижений блоков и их систематических разворотов, образовавшихся после послеледникового поднятия территории выше уровня моря.
3. Полученные результаты свидетельствуют о возникновении в голоцене в районе ЮВ борта Кандалакшского грабена низкомагнитудных землетрясений, характерной чертой которых была мелкофокусность, обусловившая высокую сейсмическую интенсивность и появление многочисленных вторичных сейсмодислокаций в рельефе.
4. Систематические блоковые дислокации в скальных массивах могут использоваться как кинематические индикаторы палеоземлетрясений, позволяющие определять направления максимальных сейсмических воздействий, локализацию эпицентров, а также параметры сильных движений (пиковая скорость и ускорение).
5. Предложена новая методика выявления и анализа вторичных сейсмодислокаций на кристаллических щитах, позволяющая в условиях отсутствия сейсмотектонических нарушений решать задачи сейсмического районирования и оценки сейсмической опасности в районах расположения особо ответственных и технически сложных сооружений.

Авторы благодарны А.С. Ларькову и А.В. Мараханову за помощь в организации полевых исследований. Работа частично выполнена при поддержке РФФИ (грант 18-35-00296 мол-а).

ЛИТЕРАТУРА

1. Paleoseismicity of Sweden [Текст] / Mörner N.-A. // A Novel Paradigm. Stockholm, 2003. p. 320
2. Фенноскандия – недооцененная сейсмогенерирующая провинция [Текст] / Никонов А.А. // Геофизика XXI столетия. 2002 год: Сб. трудов IV геофиз. чтений им. В.В. Федынского. М.: Научный мир, 2003. С. 207–214.

3. Rodkin M.V., Nikonov A.A., Shvarev S.V. Seismic impact estimation from data on deformations and displacements in rock massifs [Текст] / Rodkin M.V., Nikonov A.A., Shvarev S.V. // Geodynamics & Tectonophysics. 2012; 3(3). P. 203-237.
4. Николаева С.Б., Никонов А.А., Шварев С.В., Родкин М.В. Комплексные палеосейсмогеологические исследования на ключевом участке в юго-западной части Кольского полуострова (Северо-Восток фенноскандинавского щита) [Текст] / Николаева С.Б., Никонов А.А., Шварев С.В., Родкин М.В. // ДАН. 2016. №2. С. 199-204.
5. Горбатов Е.С., Сорокин А.А., Мараханов А.В., Ларьков А.С. Результаты детальных палеосейсмологических исследований в районе полуострова Киндо (Карельский берег Белого моря) [Текст] / Горбатов Е.С., Сорокин А.А., Мараханов А.В., Ларьков А.С. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2017. Т. 44. №3. С. 5-24.
6. Послеледниковые вторичные сейсмодислокациии карельского берега Белого моря [Текст] / Сорокин А.А., Горбатов Е.С. // Материалы науч. конф. молодых ученых и аспирантов. М.: ИФЗ РАН. 2017. С. 70.
7. Горбатов Е.С., Колесников С.Ф. Деформационные текстуры в озерно-ледниковых отложениях Хибин и оценка их сейсмогенности [Текст] / Горбатов Е.С., Колесников С.Ф. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2016. Т. 44. № 3. С. 5-17.
8. Маев Е.Г., Сафьянов Г.А., Фроль В.В., Зверев А.С. Мощность осадков и рельеф коренного ложа пролива Великая Салма (Белое море) [Текст] / Маев Е.Г., Сафьянов Г.А., Фроль В.В., Зверев А.С. // Геоморфология. 2010. №1. С. 59-67.
9. Korzhenkov A. M., Mazor E. Structural reconstruction of seismic events: Ruins of ancient buildings as fossil seismographs [Текст] / Korzhenkov A. M., Mazor E. // Science and New Technologies. 1999. № 1. P. 62–74.
10. Шевченко Н.В., Кузнецов Д.Е., Ермолов А.А. Сейсмотектонические проявления в рельефе берегов Белого моря [Текст] / Шевченко Н.В., Кузнецов Д.Е., Ермолов А.А. // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2007. № 3. С. 44-49.
11. Друмя А.В., Шебалин Н.В. Землетрясение: где, когда, почему? [Текст] / Друмя А.В., Шебалин Н.В. // Отв. ред. М.А. Садовский – Кишинев: Штиинца. 1985. С. 196.
12. Романенко Ф.А., Шилова О.С. Послеледниковое поднятие Карельского берега Белого моря по данным радиоуглеродного и диатомового анализов озерно-болотных отложений п-ова Киндо [Текст] / Романенко Ф.А., Шилова О.С. // ДАН. 2012. № 4. С. 544–548.

УДК: 550.348.098.64 (-924.72/76)

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ И СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИТОСФЕРЫ ЮЖНО-КАСПИЙСКОЙ ПЛИТЫ

А.Г. Заманова
Институт Геологии и Геофизики НАН Азербайджана, Баку, AZ 1143, просп.Г.Джавида,29А

В статье, с учетом последних данных геофизических исследований, была проанализирована связь сильных землетрясений со слоями земной коры в азербайджанском секторе Южно-Каспийской впадины. На основе карты эпицентров землетрясений и сейсмологических профилей были изучены закономерности распределения землетрясений по площади и глубине. Северная граница Южно-Каспийской впадины отличается высокой сейсмической активностью. На основе совместного анализа данных сейсмологических исследований и моделей сверхглубинной сейсмометрии сделан вывод о том, что наблюдаемая активная сейсмичность на северной части ЮКВ связана с периодическими «оживлениями» в подвижной зоне геодинамических и тектонических процессов сжатия, погружения и субдукции консолидированной коры ЮКВ под эпигерцинскую платформу.

Ключевые слова: Южно-Каспийская впадина, Абшеронский порог, землетрясение, эпицентр, гипоцентр

DEEP STRUCTURE AND MODERN GEODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE LITHOSPHERE OF THE SOUTH CASPIAN PLATE

Zamanova Aynur Hummet
Azerbaijan National Academy of Sciences, Institute of Geology and Geophysics, 29A, H. Javid ave., Baku, AZ 1143

The article, based on the data of recent geophysical investigations were analyzed the relationship of strong earthquakes with layers of the Earth's crust in the Azerbaijani sector of the South Caspian Basin. Based on a map of earthquakes and seismic profiles were studied the objective laws of distribution of earthquakes along the area and depth. The northern boundary of the South Caspian basin is differed by high seismic activity. On the basis of joint analysis of seismological research and models of the ultra-deep seismometry concluded that the observed seismicity is active on the northern part of the SCB associated with periodic "revival" in the mobile zone geodynamic and tectonic processes of compression, immersion, and subduction of the consolidated crust of SCB beneath the Epihercynian platform.

Keywords: South Caspian basin, earthquake, Absheron threshold epicenter, hypocenter

Введение

Южно-Каспийская впадина (ЮКВ)– самая глубокопогруженная депрессия мира. Она характеризуется как глубокая впадина, с присущей ей консолидацией земной коры и мощным осадочным покровом (Н >25 км). ЮКВ и окружающая ее территория в современной геодинамической обстановке подвержена воздействию сил сжатия, обусловленных движением Аравийской плиты на север. В результате возникают определенные деформации в земной коре, происходят сейсмические процессы, наблюдаемые при землетрясениях.

Сейсмичность региона: Современная неотектоническая активность региона - это сжатие его литосферы к северу, погружение консолидированной коры, продолжение процесса образования складчатости. Центральная часть впадины в отличие от ее периферии практически асейсмична. Очаги землетрясений, происходящих в ее периферийной части, окаймляют впадину, подчеркивая ее контуры [5]. Более глубокие очаги землетрясений (55-60 км, в редких случаях 95-100 км) связаны с этой зоной [2]. Эта зона начиная от Махачкалы и удлиняясь в юго-восточную сторону, охватывает территорию Большого Балхана и п-ва Туркменбаши. Фокальный анализ [6] сильных землетрясений (M=6,1;6,2;6,3) в Прибалханской зоне показывает, что эта зона характеризуется крутым сбросовым механизмом. Нами исследована связь сильных очагов землетрясений с тектоникой сейсмоактивной зоны в Среднем Каспии, севернее Абшеронского порога (Рис.1).

Статья посвящена изучению связи сейсмогеодинамической активности с глубинным строением литосферы Южно-Каспийской впадины (ЮКВ), особенно в ее северной бортовой зоне и в предплатформенной области Среднего Каспия. До 2000 года, в отсутствии надежной и достоверной информации о глубинном строении указанного региона, природа наблюденных здесь значений сейсмической активности, большой отрицательной гравитационной аномалии [7], мозаичного магнитного поля и высокого теплового потока [1], оставалась дискуссионной.

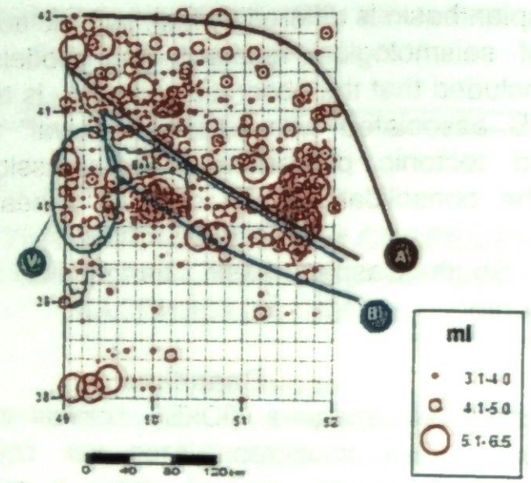


Рис.1. Карта эпицентров землетрясений ml >3,0 за 1970-2016 гг. в Каспийском море (Азербайджанская часть). А – пояс сильных (ml ≥5,0) и средних (ml ≥3,5.5.0) землетрясений с гипоцентрами 35-70 км и глубже в пред платформенной зоне, В-пояс слабых (ml≤3,5)) и средних (ml>3.5-5.0)) землетрясений с гипоцентрами 10-30 км.

Методика решения проблемы: В последние годы материалы сверхглубинной сейсмометрии методом ОГТ и сейсмотомографии внесли ясность в глубинное строение литосферы региона [8,4]. Установлено, что мощный осадочный чехол (H > 20-25 км) подстилается тонкой (7-8 км)) консолидированной корой океанического типа (Рис.2). Глубина поверхности Мохо меняется в интервале 25-36 км. В фундаменте ЮКВ выделяется консолидированная земная кора океанического типа, мощностью 7-8 км и со скоростью продольных волн V_p=6,5-6,8 км/сек. В районе Абшеронского порога тонкая и тяжелая океаническая кора ЮКВ, постепенно погружаясь в северном направлении, субдуцируется под Скифско-Туранскую плиту (СТП).

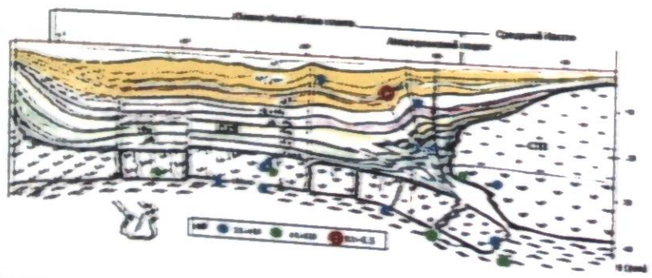


Рис.2. Расположение очагов сильных землетрясений по региональному геологическому разрезу ЮКВ (Мамедов П.З.)

В связи с этим возникла необходимость исследования взаимосвязи сейсмической активности с глубокими слоями литосферы ЮКВ и аккреционной призмой, сформировавшейся над субдуцирующей корой

из соскабливаемых с ее поверхности мезозой-палеогеновых пород (Рис.3а). Для анализа закономерности распределения землетрясений в пространстве порога (по площади и глубине) использована база данных Республиканского Центра Сейсмологической Службы при Национальной Академии Наук Азербайджана обо всех землетрясениях с магнитудой ml > 3.0, произошедших в 1970-2016 гг. Проанализированы параметры землетрясений (φ, λ, M, H) и время их возникновения [3].

Анализ современного сейсмического состояния ЮКВ показал, что ее центральная часть характеризуется относительно слабой сейсмической активностью, а северная бортовая зона во все времена отличалась и отличается в настоящее время высокой сейсмической активностью. Здесь наряду с коровыми землетрясениями происходили очень сильные землетрясения коро-мантийного происхождения. В Абшеронском пороге и предплатформенной зоне большое количество землетрясений произошло в пределах аккреционной призмы (Рис.3а,б).

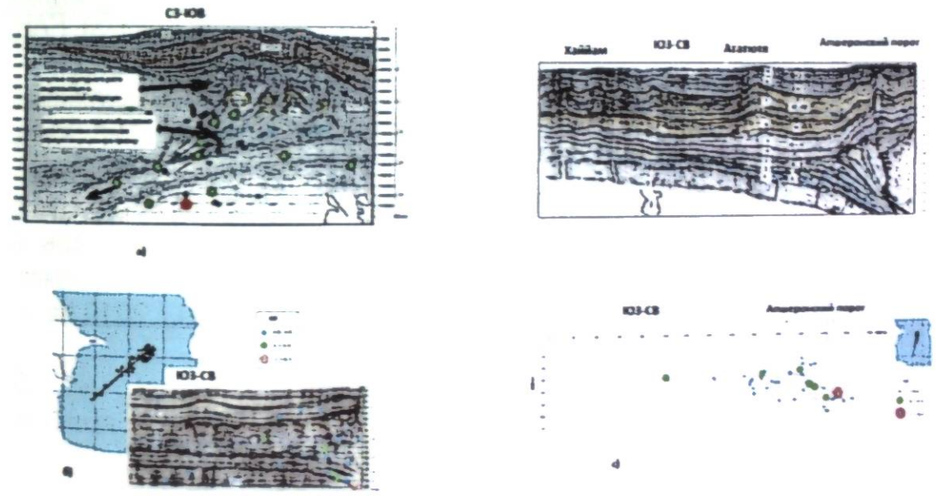


Рис.3. Распределение гипоцентров землетрясений различной магнитуды на временных разрезах СГ-ОГТ. Отображение на временных разрезах трёх профилей субдукции океанической коры ЮКВ и структуры аккреционной призмы перед фронтом платформы.

Механизмы большинства глубокофокусных (H > 30 км) землетрясений на уровне кровли консолидированной коры, в основном характеризуются напряжениями растяжения, которые, скорее всего, связаны с изгибом под углом больше 22-25° и субдукцией Южно-Каспийской плиты (ЮКП) а в предплатформенной зоне – с разрывными нарушениями и раздроблением края платформы и смещением ее блоков. Анализ механизмов землетрясений показал, что землетрясения на глубинах 15-25 км в пределах аккреционной призмы связаны, в основном, с напряжением сжатия с образованием взбросо-покровных структур [9].

Выводы: В связи с мощным геодинамическим давлением с юга на Анатолийско-Иранский блок микроконтинентов перед Аравийской платформой, исследуемая область землетрясений остается подвижной зоной и характеризуется периодическими «оживлениями» субдукции и деформаций в осадочном чехле (сжатие, складкообразование, вздутие вверх, грязевой вулканизм и т.д.). Таким образом, на основе анализа фактического сейсмического материала и сейсмологических данных доказано, что активизация сейсмичности на северном борту ЮКВ связана не с гипотетическими и неподтвержденными фактическими данными субвертикальных разломов, а с субдукцией ЮКП и тектоническими деформациями в пределах аккреционной призмы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А, и др. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. М.: Недра-Бизнесцентр, 2004, 342 с.
2. Даниялов М.Г., Левкович Р.А. и др. Сейсмический мониторинг территории Дагестана (1998–2002). Геофизическая служба РАН. М.: Лика, 2003. с.178
3. Заманова А.Г. Исследование связи сейсмичности Южно-Каспийской впадины с различными слоями литосфере. Автореф. дис. канд. геол-мин. Баку, 2016, 23 с.
4. Мамедов П.З. Современная архитектура Южно-Каспийского мегабассейна - результат многоэтапной эволюции литосферы в центральном сегменте Альпийско-Гималайского подвижного пояса. Известия НАН Азербайджана (геологическая серия). 2010.№ 4. С.46-72.
5. Уломов В.И., Данилова Т.И., Медведева Н.С. и др. О сейсмогеодинамике линеаментных структур горного обрамления Скифско-Туранской плиты. Физика Земли, №7, 2006, с.17-33
6. Jackson J., Priestly K., Allen M., Berberian M. Active tectonics of the South Caspian Basin. Geophys. J.2002. Int. 148. P. 214–245.
7. Kadirov F.A., Gadirov A. A. gravity model of the deep structure of South Caspian Basin along submeridional profile Alborz–Absheron Sill. Glob. Planet. Change. 2013, p.p. 1-9
8. Knapp C.C., Knapp J.H., Connor J.A. Crustal-scale structure of the South Caspian Basin revealed by deep seismic reflection profiling. Marine and Petroleum Geology.2004. P.1073–1081
9. Zamanova A.H. Seismicity of the Southern Caspian subduction zone. International Student and Young Researchers Conference "Perfect Education- the key to success in oil production", Bakı, 2017, 34-35

УДК:622.831

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА С УЧЕТОМ ЗАПРЕДЕЛЬНОЙ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ПОРОД

Э.К.Абдылдаев, Р.А.Молдошев
Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы

В статье приведены математические модели и результаты решения задачи горного дела на основе информационной технологии и метода конечных элементов.

Ключевые слова: геомеханические задачи, структуры месторождения, математические модели, неоднородность массива, свойства пород, тектонические силы.

STRESSED STATE OF ROCK FILE TAKING INTO ACCOUNT OTHER-WORDLY DEFORMABILITY OF ROCKS

E.K.Abdyldaev, R. A.Moldoshev
The Kazakh National university of a name al-Farabi, Almaty

In article mathematical models and results of the decision of a problem of mining on the basis of information technology and a method of final elements are resulted.

Keywords: geomechanical problems, deposit frames, mathematical models, heterogeneity of rock file, property of rocks, tectonic forces.

Введение

В народном хозяйстве Кыргызской Республики горнодобывающие отрасли промышленности занимают одно из важнейших мест по своей роли в общественном производстве, экономической значимости и социальным факторам. В этой связи для создания эффективных и надежных конструкций шахт и карьеров, развитие системы экологического мониторинга окружающей среды исследования в области горного дела должны быть комплексными в сочетании фундаментальных и прикладных наук. В Республике одним из приоритетов является наращивание темпов добычи и поставки на рынки природных ресурсов с тем, чтобы использовать нынешний высокий мировой спрос в интересах страны. Конкурентоспособность горных предприятий в основном обеспечивается при больших объемах добычи

полезного ископаемого. Высокопроизводительная их работа достигается на основе внедрения в практику результатов научных исследований по созданию новых и совершенствованию существующих технологических схем с включением техники цикличного и непрерывного действия, рациональная комплектация оборудования, всемерное расширение области применения прогрессивных технологических решений, а также применение совершенных форм организации и управления массовыми горными работами.

Бурное развитие информационных технологий в настоящее время ставит новые требования перед традиционными, вполне сформировавшимися областями знаний, одной из которых является геомеханика и освоение недр. В связи с истощением запасов полезных ископаемых, залегающих на доступных глубинах, основным направлением развития горнодобывающей промышленности будет дальнейшее развитие и совершенствование методов и способов добычи полезных ископаемых с вовлечением в эксплуатацию месторождений со сложными горно-геологическими условиями, большой глубиной разработки и значительным сроком службы бортов карьеров и подземных выработок. Современный уровень развития математического аппарата решения задач геомеханики и вычислительной техники позволяют автоматизировать процесс проектирования выработок, учесть все детали строение массива, добиться большей достоверности проектных решений, обеспечивающих минимальные объемы вскрышных работ, безопасные условия труда, рациональное использование недр и земельных ресурсов, которая становится актуальной в условиях рыночной экономики.

Объекты и методы исследований

Горные предприятия в отличие от многих других промышленных объектов и сооружений (металлургических, машиностроительных, химических заводов и др.) являются природно-технологическими комплексами. Параметры и показатели экономической эффективности горных предприятий определяются для данного уровня техники в основном природными факторами (строением и размерами месторождений, рельефом местности, гидрологическими условиями и др.) и допустимым воздействием их на окружающую среду. Необходимо отметить, что на современном этапе развития горной науки это дифференциации горной науки, возникновение ее новых отраслей и подразделений на базе ее интеграции со смежными областями науки и техники. Поиск и научное обоснование методов рационального и комплексного использования недр, обеспечивают их комфортные условия труда и оптимальное состояние природной среды

Новейший этап в развитии горной науки следует связывать с развертыванием научно технической революции (НТР). НТР - как известно, поставила перед человечеством новые проблемы: охраны

окружающей среды и истощения минерально-топливных ресурсов. Эти проблемы особенно актуальны для горной промышленности и науки, не решив которые, дальнейшее производственное использование полезных ископаемых может стать общественно малоэффективным. Следует заметить, что в районах горных разработок резко ухудшается географическая среда, сильный вред наносит ей способ открытых разработок, увеличение доли которого планируется в ближайшей перспективе. Эффективность способа уже в настоящее время минусуется большими неизбежными расходами на рекультивацию нарушенных разработками земель. Отсюда постановка перед наукой задач принципиального изменения в технологии добычи полезных ископаемых. Это особенно актуально потому, что современная технология не позволяет осваивать месторождения в глубоких недрах земли, а также с низким содержанием полезных ископаемых. Поэтому так актуально разработать принципиально новые методы и средства добычи полезных ископаемых, избежать при этом перемещения масс пустых пород, исключить присутствие под землей человека, резко повысить производительность труда. Это - реальная задача, так как налицо и внутренняя подготовленность и зрелость горной науки для обогащения ее новейшими достижениями фундментальных наук, на безе которых можно осуществить принципиальный сдвиг в техничском базисе горного производства. В мировой практике технический прогресс, в первую очередь, связан с ориентацией на широкое применение самоходного горного оборудования: разработка самоходного бурового, погрузочно-доставочного и транспортного оборудования, самоходные ковшовые погрузочно-доставочные машины (ПДМ) как с дизельным, так и электрическим приводом. Развитие информационных и коммуникационных технологий, повсеместное внедрение автоматизации и дистанционного управления горными машинами и агрегатами являются приоритетными направлениями совершенствования подземной техники. Дифференциация горной науки на базе ее интеграции со смежными областями науки и техники и в то же время - это синтез горных наук в единую систему знаний для поиска методов рационального и комплексного использования недр, обеспечивающих комфортные условия труда и оптимальное состояние природной среды. Цель горной науки - не только в описании, объяснении условий средств и способов разведки добычи и первичной переработки полезных ископаемых, но главным образом в поиске путей их совершенствования и изменения для облегчения условий труда и повышения экономичности производства. Горная наука сегодня - это сложный, развивающийся комплекс научных дисциплин. Все процессы и явления, происходящие при разведке, добыче и переработке полезных ископаемых, содержат внутренние и внешние противоречия, открытие, исследование и разрешение которых является главной задачей горной науки.

Горные науки по уровню исследований и методам решения задач существенно отличаются от таких фундаментальных наук, как физика или химия, которые используют для решения стоящих перед ними задач количественные методы. В основе решения задач, стоящих перед горным наукам - качественное изучение объектов исследования. Очень часто в практике используются статистическое накопление факторов и их субъективная оценка, которая базируется на методе аналогий. Это можно объяснить тем, что объекты горной науки представляют собой конкретные условия, для которых трудно установить законы, "общие для всех мест и времен". Общая тенденция математизации наук не обошла и горные науки, но для решения большинства крупных горных проблем на сегодня недостаточно математических средств, поскольку задачей, например, разработки месторождений является создание самоорганизующихся многофакторных систем, а в дальнейшем и самопрограммируюших автошагов. На современном этапе количественно решать задачи, возникающие, например, при разработке полезных ископаемых, можно только применительно к определенным, идеальным месторождениям. Поэтому для придания практического значения таким "количественным" решениям допущения, лежащие в основе анализа, должны, в соответствии с принятыми величинами, согласовываться с естественными условиями.

Результаты исследования

В процессе образования в массиве открытых или подземных горных выработок нарушается естественное напряженно-деформированное состояние. Вокруг выработок различного назначения появляются зоны не упругих деформаций. Особенно важное значение имеют закономерности деформирования горных пород за пределы прочности, связанные с разрыхлением (необратимым увеличением объема), разупрочнением (снижением сопротивляемости) и упрочнением. Указанные закономерности в значительной мере определяют характер напряженно- деформированного состояния породного массива вблизи выработок, особенно при комбинированной разработке месторождений полезных ископаемых открытым и подземным способами во взаимном влиянии друг на друга. Сложность горногеологических и горнотехнических условий, их большое разнообразие, отсутствие комплексных методов оценки свойств и состояние породного массива ставит перед геомеханикой (наука о механическом поведении породного массива под действием тектонических сил и производственной человеческой активности) все новые проблемы. При этом одной из важнейших является проблема разработки общей методологии и метода, учитывающей выше названные особенности, на основе современного достижения в области численных методов математики, механики твердого деформируемого

тела (теории пластичности и разрушения) и информационных технологий [1, 2].

Запишем закон Гука для условий плоской деформации ($\varepsilon_2 = 0$) в следующем виде:

$$\sigma_1 = \boldsymbol{E}_п (\boldsymbol{\varepsilon}_1 + \boldsymbol{\nu}_п \boldsymbol{\varepsilon}_3)/(1- \boldsymbol{\nu}^2_п)$$
$$\sigma_3 = \boldsymbol{E}_п (\boldsymbol{\varepsilon}_3 + \boldsymbol{\nu}_п \boldsymbol{\varepsilon}_1)/(1- \boldsymbol{\nu}^2_п) \qquad (1)$$

где $E_П$, $\nu_П$ – «плоские» аналоги модуля Юнга E и коэфициента Пауссона ν, связанные с ними соотношениями: $E_П$ =E/(1- $\boldsymbol{\nu}^2$), $\nu_П$=$\boldsymbol{\nu}$/(1-$\boldsymbol{\nu}$).

Считая, что предел прочности рассматриваемой среды в области сжатия описывается критерием Кулона:

$$\sigma_1 = S + \sigma_3 ctg\delta \qquad (2)$$

где $S = 2c\ ctg(\pi/4 - \varphi/2)$ - прочность на одноосное сжатие; ctgδ= (1+sin φ)/(1-sin φ); c, φ - сцепление и угол внутреннего трения.

в области растяжения дополним критерием σ_3 = T, T – прочность на растяжение. После несложных преобразований, получим описания границ прочности через главные деформации - сжатия считаются положительными:

$$[(\boldsymbol{E}_п\ \boldsymbol{\varepsilon}_1 - S)\ (1 - \boldsymbol{\nu}_п ctg\delta)/(\ ctg\delta - \boldsymbol{\nu}_п)-\boldsymbol{\nu}_п S] / \boldsymbol{E}_п - \boldsymbol{\varepsilon}_3=0 \qquad (3)$$
$$T(1- \boldsymbol{\nu}^2_п)/ \boldsymbol{E}_п - \boldsymbol{\nu}_п \boldsymbol{\varepsilon}_1 - \boldsymbol{\varepsilon}_3 = 0 \qquad (4)$$

В координатах ε_1 и ε_3 уравнения (3) и (4) имеют вид соответственно прямых A'B' и D'A ' рисунок 1,а. Таким образом, в области 1 в пределах контура D'A'B' по известным деформациям ε_1 и ε_3 напряжения σ_1 и σ_3 могут быть найдены по формулам (1). За пределами контура A'B'C' действуют иные уравнения связи деформаций и напряжений.

Пусть в процессе нагружения деформированное состояние элемента среды вышло в некоторую точку E ' на границе зоны упругости (рис. 1,а). Рассмотрим закономерности дальнейшего пластического деформирования, протекающего при постоянном минимальном главном напряжении. Увеличение деформации ε_1 (т.е. укорочение элемента среды в направлении ε_1) сопровождается уменьшением деформации ε_3 (расширением в перпендикулярном направлении). Полный вектор пластических деформаций ε_p (E'F' на рисунке 1,а) состоит из двух компонентов: ε_{1p} и ε_{3p}, а взаимосвязь этих компонентов определяется принятым законом течения.

Если принять $\varepsilon_{3p} = -\ \varepsilon_{1p}$, то укорочение в направлении ε_1 будет равно удлинению в направлении ε_3, а объем элемента среды при пластическом деформировании будет оставаться неизменным. Такое пластическое течение может быть названо равнообъемным. В более общем случае связь компонентов пластических деформаций может быть охарактеризована соотношением вида

$$\varepsilon_{3p} = -ctg\beta\ \varepsilon_{1p}. \qquad (5)$$

Угол β на рисунке 1,а определяет степень разрыхления при пластическом течении; величина $ctg\beta$ может быть названа

коэффициентом дилатации. При $\beta = \delta$ формула (5) соответствует принципу нормальности (ассоциированному закону течения).
При этом, если деформации элемента среды ε_1 и ε_3 характеризуют точку F' на рисунке 1а, то они могут быть представлены в виде суммы упругих и пластических компонентов:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{1_e} + \varepsilon_{1_p};\ \varepsilon_3 = \varepsilon_{3_e} + \varepsilon_{3_p}. \qquad (6)$$

Упругие компоненты ε_{1_e} и ε_{3_e} являются координатами точки E' и определяются из формул упругости (1) при подстановке в них значения σ_1 на границе упругости по формуле Кулона (2). Подставив полученные таким образом значения ε_{1_e} и ε_{3_e} и величину ε_{3_p} из формулы (5) в уравнения (6), получим систему двух уравнений, решив которые относительно σ_3 и ε_{1_p}, найдем величину напряжения σ_3 соответствующую данному деформированному состоянию:

$$\sigma_3 = [E_П(\varepsilon_1 + \varepsilon_3) + S\,(v_П - 1)]/(1\text{-}v_п\ \mathrm{ctg}\ \delta + \mathrm{ctg}\ \delta\ \text{-}v_П) \qquad (7)$$

Для определения величины σ_1 должно быть задано семейство

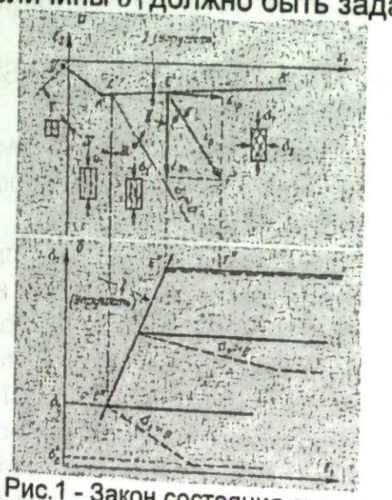


Рис.1 - Закон состояния среды

графиков связи σ_1 и ε_1 при пластическом деформировании в условиях $\sigma_3 = const$ рисунок 1,б. Если в процессе деформирования сопротивляемость остается постоянной (идеальная пластичность), то графики σ_1 - ε_1 имеют вид горизонтальных прямых (сплошные линии на рисунке 1,б), а сама величина σ_1 может быть рассчитана по ранее определенной величине σ_3 с помощью формулы (2).

Для пород, разупрочняющихся в процессе запредельного деформирования, может быть предложено [2,3], например, семейство графиков, изображенных на рисунке 1,б штриховыми линиями. Эти графики характеризуют среду, сопротивляемость которой в процессе пластического деформирования снижается от исходной величины, определяемой по формуле (2), до остаточной величины

$$\sigma_1 = \min\,[(S + \sigma_3 \mathrm{ctg}\delta), (S' + \sigma_3 \mathrm{ctg}\delta')], \qquad (8)$$

где S' и δ' – характеристики остаточной прочности ($S' < S$, $\delta' < \delta$).
Разработанные модели реализованы в виде численных процедур для

случаев плоской деформации в деформационном варианте теории пластичности на основе метода конечных элементов.

Основная процедура метода конечных элементов рассматривает среду как упругую и сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных перемещений $\{u\}$:

$$\{F\} = [K]\{u\}, \qquad (9)$$

где $[K]$ - матрица жесткости системы; $\{F\}$- вектор узловых сил.

Поскольку исследование напряженно - деформированного состояния породного массива с учетом запредельной деформируемости представляет собой нелинейную задачу, в работе нами получены новые разработки в области комбинированной процедуры применительно к общему случаю, когда закон состояния среды задается на основе предложенной модели. Отладка программы, проверка качества конечно-элементной сетки и геомеханической модели породного массива осуществлены решением тестовых задач, имеющих аналитические решения [3].

Для количественной и качественной оценки решения МКЭ по вышеизложенному алгоритму и разработанной на ПК программе, проведено решение тестовой задача одноосного сжатия образца с трением на торцах. Ввиду наличия двух осей симметрии рассматривается только четверть области (рис.2а). Оси симметрии в процессе деформирования не искривляются и вдоль осей симметрии отсутствуют касательные напряжения. Трем верхним узлам заданы перемещения вниз равные 0.018. Свойства элементов: E=100 МПа, ν=0.3 , γ=0 , c= 0.1 МПа , $\varphi = 30^0$.

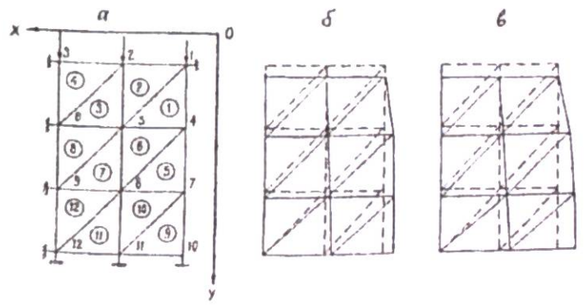


Рис.2.Тестовая задача: а- расчетная схема; б-форма образца после нагружения при ассоциированном законе течения; в-форма образца в разупрочняющейся среде.

Задача решена по разработанной программе в двух вариантах: в первом варианте закон состояния подчиняется ассоциированному закону течения; во втором – рассматривается разупрочняющаяся среда с коэффициентом дилатации λ=3. На рис. 2 б и 2 в показаны формы деформированного образца полученные в результате расчета на ПК. Для обеспечения равновесия эти силы должны быть равны по величине

и противоположны по направлению заданным внешним силам, а в тех узлах, где внешних сил не задано – равны нулю. В целом сумма узловых сил, приложенных к области, в направлениях x и y для обеспечения равновесия должно быть равна нулю. При решении каждой конкретной задачи проверкой было установлено выполнения условия равновесия.

Для проверки выполнения закона состояния нами предусмотрен вывод на печать не только найденных фактических напряжений в элементах, но и " теоретических" напряжений, вычисляемых по формулам для принятого закона состояния и найденным деформациям. Качество решения может быть оценено по близости значений фактических и теоретических напряжений по рис. 3 а и 3 б где изображены паспорта прочности среды и фактические напряжения в элементах (точки). В элементах 2 и 4 вычисленные деформации ε_1 и ε_3 меньше, чем предельная упругая деформация для данного напряжения σ_3 , поэтому они находятся в упругом состоянии. Остальные элементы находятся в неупругом состоянии. Из рис. 3а, б и из результатов расчета следует, что закон состояния удовлетворяется по заданной точности, соосность главных напряжений и деформаций выдерживаются. Далее проверим выполнения заданного закона течения, например, на элементе № 10. Напряжения в элементе равны: σ_1=4.9, σ_3 =0.39, а деформации: ε_1=0.0070, ε_3= -0.0097. При плоской деформации по закону Гука упругие составляющие деформаций при таких напряжениях составляют: ε_1^y= 0.0043, ε_3^y= - 0.0016. Соответственно, пластические компоненты равны: $\varepsilon_1^p = \varepsilon_1 - \varepsilon_1^y$ =0.0027; $\varepsilon_3^p = \varepsilon_3 - \varepsilon_3^y$= - 0.0081 (10).

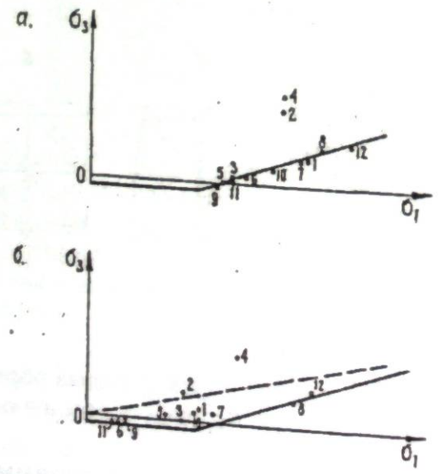


Рис.3. Напряженное состояние в элементах: а- при ассоциированном законе течения; б- в разупрочняющейся среде.

Как видим, соотношение пластических компонент деформации

$$\lambda = |\varepsilon_3^p / \varepsilon_1^p| = (0.0081/0.0021) = 3 \quad (11)$$

точно равно к заданному (ассоциированному) закону течения, характеризуемому λ =3. В рассмотренных задачах найденное решение является единственным. В принципе решение пластической задачи может быть не единственным: например, растяжение идеально–пластического стержня нагрузкой, равной пределу текучести материала, не будет иметь единственного решения. В то же время растяжения этого стержня до заданной деформации будет иметь единственное решение.

Заключение

В заключении необходимо отметить, что разработанные процедуры и программы позволяют решать с помощью современных компьютеров широкий класс задач горного производства, в которых требуется определять напряженно-деформированное состояние породного массива, ослабленного выработками в разных горнотехнических и горногеологических условиях. Компоненты естественного поля напряжений представляются в виде зависящих от геомеханических структур месторождения, и в программе учитываются с помощью граничных условий. При этом граничные условия могут быть заданы в виде нулевых или ненулевых узловых сил или перемещений (или же смешанных условий). Неоднородность массива учитываются по моделям путем введения различных прочностных и деформационных характеристик $E, \nu, \gamma, c, \varphi$ (модуль упругости, коэффициент Пуассона, плотность, сцепление и угол внутреннего трения). Поверхности ослабления и нарушения в массиве имитируются слоями элементов с соответствующими пониженными прочностными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ракишев Б.Р., Машанов А.А., Абдылдаев Э.К. Структура массива и деформируемость горных пород, Алматы, 2011, 281 с.

2. Абдылдаев Э.К. Метод конечных элементов при решении прикладных задач. – Алматы.: Полиграфия-сервис, 2011, - 111 с.

3. Молдошев Р.А., Абдылдаев Ч.Э., Абдылдаев Э.К. Деформационные модели, учитывающие дилатансии и разупрочнения горных пород, Вестник Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева №1(95), -Алматы ,-2013. -С. 21-24

УДК:550.343.4

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

Г.Р. Садыгова
Институт Геологии и Геофизики НАН Азербайджана,
Баку, AZ 1143, просп. Г. Джавида, 29А

В статье проанализированы значения тепловых потоков Юго-Восточного Кавказа. Были построены кривые изменения температуры T^0C вдоль профиля Самур-Баку на глубинах 1000 м, 2000 м, 3000 м, расположенного на западном побережье Каспийского моря. Приведена схема гравитационного поля Юго-Восточного Кавказа. Проанализированы скорости современных вертикальных и горизонтальных движений земной коры. Проведенный анализ показывает, что зоны эпицентров сильных землетрясений коррелируется с градиентной зоной поля скорости деформации.

Ключевые слова: Юго-Восточный Кавказ, температура, гравитационная аномалия Буге, вертикальные движения, GPS скорости, деформация, землетрясения.

GEODYNAMIC PECULIARITIES OF THE TERRITORY OF SOUTH- EASTERN CAUCASUS

Sadigova Gunel Rafael
Azerbaijan National Academy of Sciences, Institute of Geology and Geophysics, 29A, H. Javid ave., Baku, AZ 1143

In the article, the value of heat flows in the South-Eastern Caucasus were analyzed. Temperature curves T^0C at the depths of 1000 m, 2000 m, 3000 m along the Samur-Baku profile, located on the western coast of the Caspian Sea and scheme of the gravity field of the South-Eastern Caucasus were constructed. The velocities of modern vertical and horizontal movements of the earth crust are analyzed. The analysis shows that the zone of epicenters of strong earthquakes correlates with the gradient zone of the deformation rate field.

Key words: south-eastern Caucasus, temperature, Bouguer gravity anomaly, vertical movements, GPS velocities, deformation, earthquake.

Введение

Территория Юго-Восточного Кавказа отличается весьма интенсивным проявлением современных тектонических движений и высокой сейсмической активностью. В то же время, вдоль прибрежной полосы Каспийского моря расположен ряд очагов землетрясений и грязевых вулканов. Извержения грязевых вулканов и периодически происходящие землетрясения порой сопровождались сильными разрушениями на земной поверхности. В результате этого местами произошли всевозможные изменения существующих рельефных форм с образованием отдельных разрывов, невысоких холмов и впадин.

Западная граница Юго-Восточного Кавказа протяженностью 200 км, входит в состав Прикаспийского геодинамического профиля по линии Астрахань-Махачкала-Баку-Астара. В связи с этим, изучение геодинамической особенности геологического разреза Прикаспийского профиля на отрезке Самур-Баку имеет научный и практический интерес. Геодинамические особенности профиля Самур-Баку были охарактеризованы следующими данными:

1. Геотермическое поле.
2. Поле аномалий Буге.
3. Скорость современных вертикальных и горизонтальных движений поверхности Земли.
4. Деформационное состояние и сейсмичность

Геотермическое поле:Начиная с 1951 года в Институте геологии НАН Азербайджана были проведены геотермические исследования в 74 структурах, определены геотермические параметры (T, gradT, λ, q) и составлена карта тепловых потоков (для среза с отметкой 500 м) депрессионных зон Азербайджана (рис. 1) [1].

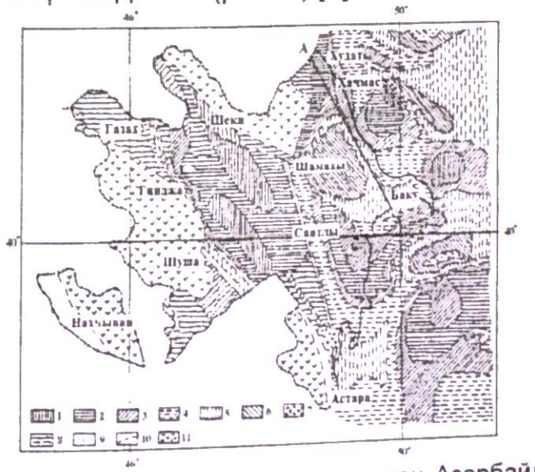


Рис. 1. Карта тепловых потоков депрессионных зон Азербайджана (составил С.А.Алиев) [1]: Значение тепловых потоков (мВт/м.^{2}): 1) 0 - 20; 2) 20 - 30; 3) 30 - 40; 4) 40 - 50; 5) 50 - 70; 6) 70 - 90; 7) 90 и более; 8) предполагаемые значения тепловых потоков; 9) пункты измерения тепловых потоков; 10) границы зон; 11) области горных сооружений.

В зоне Прикаспийско-Губинского района величины плотности теплового потока низкие, на большей части территории плотность теплового потока не превышает 30 мВт/м^2. В юго-восточной части Сиазаньской моноклинали значение плотности теплового потока достигает 50 мВт/м^2 (рис. 1).В региональном плане здесь отмечается увеличение теплового потока в восточном и южном направлениях, что, по-видимому, связано с приближением к акватории Каспийского моря, где погребённый доальпийский фундамент рассечён древними разломами глубокого заложения северо-восточныого направления. В Абшеронском районе величины плотности теплового потока колеблются в широких пределах от 20 до 90 мВт/м^2. Повышенный тепловой поток Абшеронского района, вероятно, связан с наличием здесь системы северо-восточных разломов, которые являются поставщиками глубоких флюидов. Шамахы-Гобустанский район относится к числу геотермически слабо изученных. Он охарактеризован небольшим количеством измерений температуры, теплопроводности и соответственно теплового потока. Большая часть района характеризуется значениями плотности теплового потока в пределах 70-90 мВт/м^2 с уменьшением его в направлении на юго-восток [1].

За основу анализа теплового поля в геологическом разрезе профиля Самур-Баку были приняты данные замера температуры поисково-разведочных скважин. Окончательное значение T_h для данной поисково-разведочной площади определялось как среднее от всех данных, полученных по отдельным скважинам заданной разведочной площади. Поэтому значения T_h принятые для сравнения с другими геофизическими полями и нанесенные на график, характеризуют тепловое поле соответствующего района, как например, Яламинского, Хачмасского и др. Такая схема вычисления теплового поля на отдельных поисково-разведочных площадях частично носит субъективный характер, так как, количество скважин по площадям не одинаковы и не одинаковы глубины исследования температуры по скважинам. Однако, наличие большого объема осредненных данных и учет литологической особенности разреза скважин в пределах определенной точности дают возможность считать полученный результат вполне пригодным для дальнейшего анализа.

На рис. 2 представлены кривые изменения температуры T^{0}C соответственно на уровнях глубин 1000 м, 2000 м, 3000 м вдоль гравитационный модели глубинной строения земной коры профиля Самур-Баку. Для гравитационного моделирования глубинного строения Земной коры и верхней мантии был применен метод подбора [2,3,4,5,6,7]. В качестве основного материала были использованы геолого-геофизические разрезы, построенные на основе данных глубинного сейсмического зондирования [8,9]. В исходном разрезе выделены следующие сейсмические границы: 1) четвертичная; 2)

неоген; 3) палеоген; 4) мезозой; 5) гранит; 6) базальт; 7) граница Мохоровичича. Для упрощения рисунка на этом разрезе многие яруса, свита, подотделы и системы были объединены. Там, где отдельные яруса имели большую мощность и были хорошо изучены, они в геологическом разрезе представлены самостоятельно. Поверхность доюрского основания была построена на профиле в основном по данным интерпретации локальных аномалий Буге.

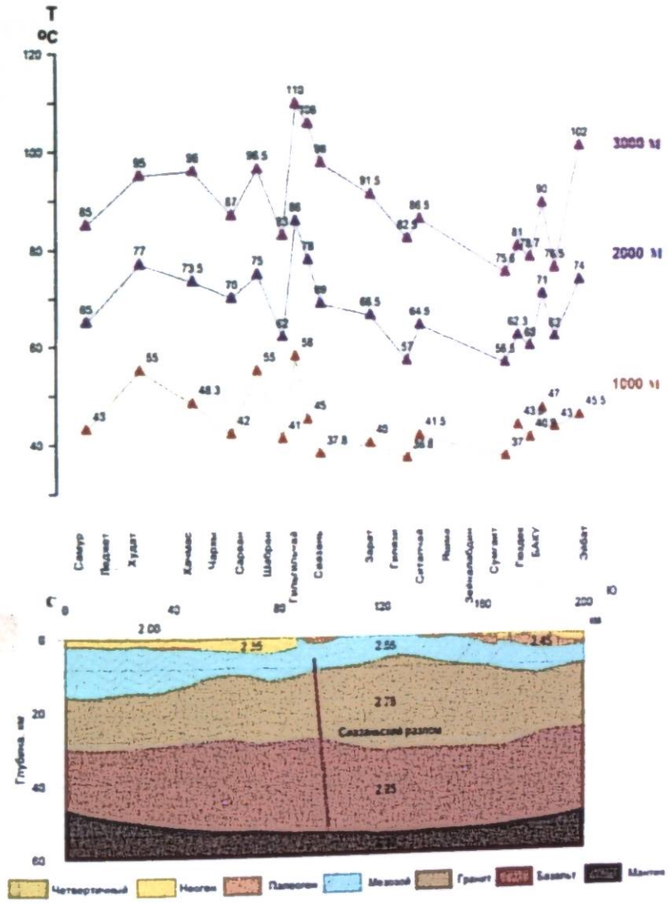


Рис. 2. Кривые изменения температуры T^{0}C соответственно на уровнях глубин 1000 м, 2000 м, 3000 м.

Кривые изменения температуры на уровнях 1000-3000 м от Самур до Сиазани и от Сумгаита до Эйбат имеют волнообразный характер. Более спокойное поведение кривых свойственно зоне мегантиклинория Большого Кавказа, более дифференцированное - Самур-Шабранской зоне и Джейранкечмесской депрессии. Температура на уровнях глубин 1000-3000 м постепенно растет. Максимумы температурной кривой на различных интервалах глубин совпадают по горизонтали. Наблюдаются одинаковые значения знака с глубиной. Очевидно, такое поведение

связано с плотностью источников тепла.

Аномалии гравитационного поля исследуемого региона: Схема гравитационного поля Юго-Восточного Кавказа приводится на рисунке 3. Гравитационное поле исследуемого региона представлены отрицательными аномалиями. В северо-западной части профиля Самур-Баку имеется Прикаспийско-Губинский гравитационный минимум. Прикаспийско-Губинский минимум совпадает с областью Предкавказского прогиба, а на северо-западе прослеживается по высокогорной области Кавказского хребта. Здесь наблюдается гравитационный минимум с амплитудой до -70-80 мГал. Центральная часть представлена слабым по интенсивности гравитационным минимумом с амплитудой до -65-70 мГал. В Южной части профиля Самур-Баку наблюдается резко выраженный минимум. Эту зону отрицательных аномалий, которая охватывает Абшеронский полуостров, Абшеронский порог, Гобустан, Нижне-Куринскую область, Бакинский архипелаг, морское продолжение Прикаспийско-Губинской области и остров Челекен, называют Восточно-Азербайджанским [4,10]. Иными словами, Восточно-Азербайджанский минимум охватывает Южный Каспий и обрамляющие его площади суши. Минимальное значение аномалий находится в море, к северу от Абшеронского полуострова. Значение аномалии здесь достигает до –125 мГал. Южная часть профиля характеризуется гравитационным минимумом с амплитудой -115мГал.

Рис. 3. Схема гравитационного поля Юго-Восточного Кавказа

Современные вертикальные движения: Для изучения скоростей современных вертикальных движений поверхности Земли вдоль

профиля Самур-Баку были приняты результаты повторных нивелировок, выполненные в 1935-1937, 1951, 1971 и 1986 г. [11,12,13,14,15,16,17]

Современные вертикальные движения земной коры указывают на поднятие в западной части Прикаспийско-Кубинского района. Максимальное значение этой скорости составляет 6 мм/год. А в восточной части наблюдается опускания, со скоростью 1 мм/год. В зоне мегантиклинория Большого Кавказа тоже наблюдается поднятия. Максимальное значение этой скорости составляет 8 мм/год.

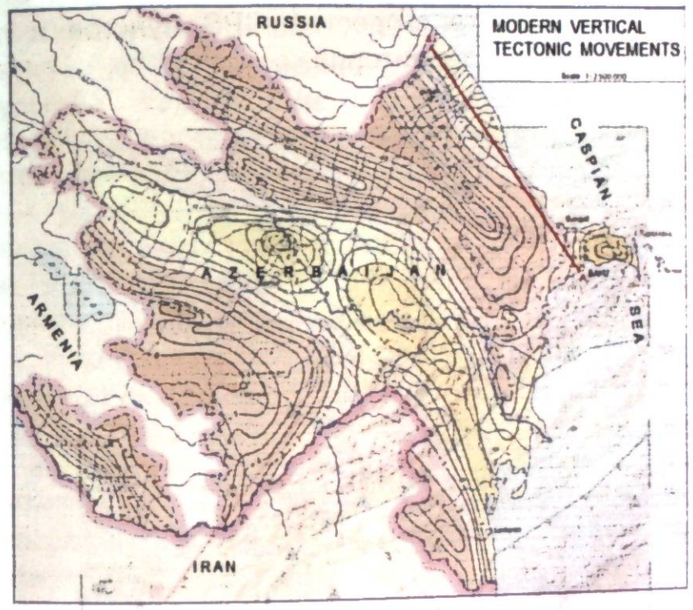


Рис. 4. Карта вертикальных движений земной коры на территории Азербайджана, полученная из повторных измерений на геодезических полигонах в 1949-1953 и 1970-1973 г. Значения на линиях составляют мм/год. Отрицательные и положительные значения указывают на опускания и поднятия. (Составили Н.Ш.Ширинов, Д.А.Лилиенберг, В.Д.Гаджиев, В.Р.Ященко) [18].

На Абшеронском полуострове наблюдается опускания. Максимальное значение этой скорости составляет 8 мм/год. Это полностью отличается от современных вертикальных движений зоны коллизии Большого Кавказа. Этот параметр не содержит информации о зависимости Абшеронского полуострова от зоны коллизии или субдукции.

Современное горизонтальное движение: Сеть GPS - станций Азербайджана создана Институтом геологии Национальной Академии наук Азербайджана в сотрудничестве с Массачусетским технологическим институтом. Сеть была создана в период 1998–2012 гг., в большинстве пунктов измерения проведены по 3–6 раз [19,20,21]. Геометрия сети и местоположение пунктов измерений определялись,

исходя из неотектонической структуры региона так, чтобы в максимально возможной степени охарактеризовать относительные смещения отдельных элементов этой структуры и общую деформацию земной коры. В настоящее время на территории Азербайджана функционируют 22 GPS пункта периодических наблюдений и 3 постоянно действующих GPS станций (Баку, Шеки и Нефтчала).

Данные GPS измерения были обработаны, а ошибки оценены с использованием программного обеспечения GAMIT/GLOBK Массачусетского технологического института [22,23] по процедуре, описанной в работе [21].

На рис. 5 показана карта скоростей GPS пунктов в пределах Азербайджана и сопредельных территорий.

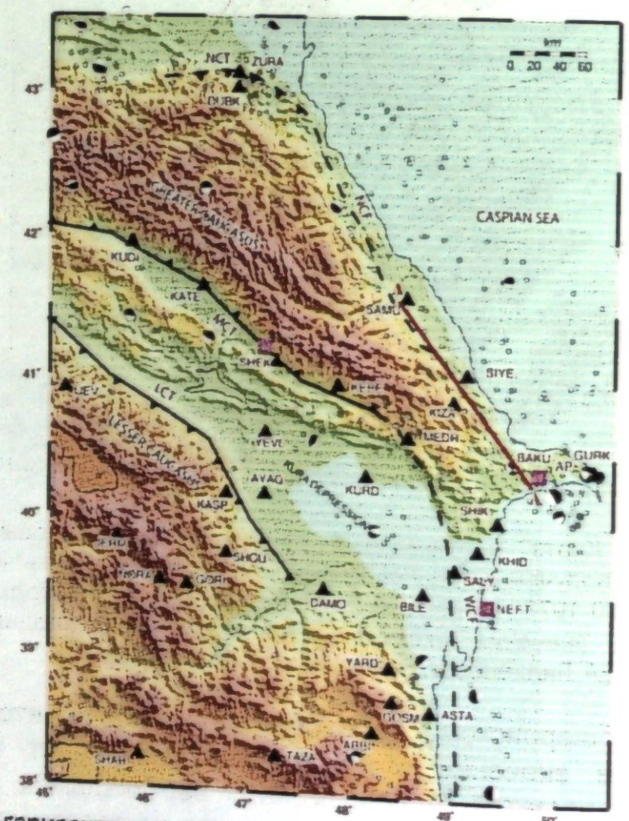


Рис.5. GPS-горизонтальные скорости и их 95% эллипсы доверительной вероятности для Азербайджана и смежных частей Кавказского региона. Данные о скоростях пунктов находящихся вне территории Азербайджана взяты из работы Reilinger et.al. [21]. Здесь также показано местоположение и ширина (в скобках) скоростного профиля вдоль Главного Кавказского надвига. Сокращения: NCT = Северо Кавказский надвиг, MCT = Главно-Кавказский надвиг, LCT = Мало Кавказский надвиг, WCF = Западно-Каспийский Разлом, NCF = Северо Каспийский разлом, AP = Абшеронский полуостров. (Кадиров Ф., КадировА.,Мамедов С., Реилингер Р. и МкКласки С.)

В широком масштабе, поле скорости GPS наблюдений ясно иллюстрирует движение ССВ направления в Азербайджане и в смежных регионах Малого Кавказа относительно Евразии южнее Главного Кавказского Надвига (ГКН). Геодинамический профиль Самур-Баку с координатами (40,31° N 49,81° E, 41,75° N 48,56° E), параллельный ГКН, показан красной линией на рис.5. В Юго-Восточном Кавказе уменьшение скорости наблюдаются в пункте Сиазань (SIYE), а увеличение наблюдается в Шамахы (MEDR), который расположен перпендикулярно к ГКН. Разности GPS скоростей между пунктами наблюдений Шамахы (MEDR) и Сиазань (SIYE)показывают, что сокращение земной коры поперёк профиля Самур-Баку равно 4 мм / год.

Анализ деформационного состояния и сейсмичность исследуемой территории: Распределения деформаций для исследуемой территории, вычисленные по методике Шена [23,24,25] приводятся на рис. 6. Голубые цвета показывают зоны сжатия, а красные – растяжения, белые – зоны, где деформации практически отсутствуют. Из анализа рисунка следует, что хотя доминирующим режимом является сжатие, деформация земной коры территории Азербайджана распределена неравномерно.

На Юго-Восточном Кавказе сжатия наблюдаются на мегантиклинории Большого Кавказе и в Гобустане. Сокращение земной коры в регионе Большого Кавказа происходит в направлении С-СВ, причем в районе Шамахы (MEDR) почти субмеридиональное. Максимальное значение скорости деформации (порядка $400 \cdot 10^{-9}$ в год) наблюдается в районе между пунктами MEDR (Шамахы), ISMA (Исмаиллы) и KEBE (Габала).

На рис. 6 показано распределение сейсмических событий с M≥4, произошедших в 1998-2012 гг., и скорости деформации. Из рисунка видно, что в деформационном поле наряду с областями сжатия проявились зоны, где деформации практически отсутствуют (величина скорости дилатации меньше $5 \cdot 10^{-9}$ в год). К таким зонам относятся Прикаспийско-Губинский район (ANIX, SAMU) и северная часть Гобустана (или восточная часть Загатала-Говдагской структурной зоны) [26]. В этих зонах растяжение почти компенсируется сжатиями. Зоны растяжения на Юго-Восточным Кавказе не наблюдаются.

Распределение эпицентров построено с использованием материалов Республиканского Центра Сейсмологической Службы Национальной Академии наук Азербайджана (http://www.seismology.az); Геофизической Службы Российской Академии Наук; а также открытой информации международных сейсмологических центров, таких как EMSC и IRIS.

Как видно из рисунка, на территории Юго-Восточного Кавказа за период 1998-2012 гг. сильные землетрясения с M≥4 происходили в зонах градиентов скорости деформации. Эти зоны расположены на юге

Абшеронского полуострова в Каспийском море и в зоне мегантиклинории Большого Кавказа. Пространственное распределение землетрясений с M≥4 также, в основном, совпадает с градиентными зонами поля деформации на поверхности Земли.

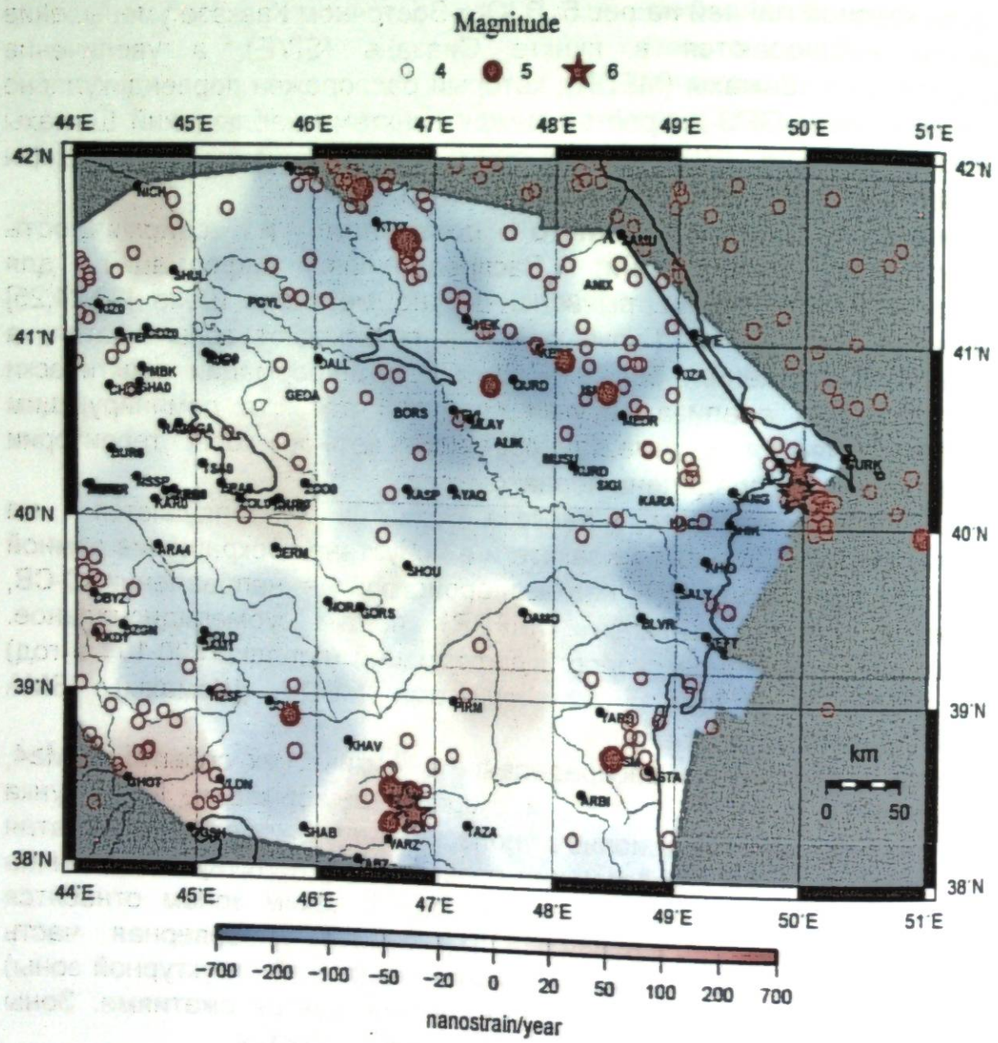


Рис. 6 Карта эпицентров землетрясений с M≥4 и поле скорости деформации (1998-2012 гг.) [23,24].

Заключение

На основе карты тепловых потоков депрессионных зон Азербайджана определены значения тепловых потоков Юго-Восточного Кавказа. В зоне Прикаспийско-Губинского района величины плотности теплового потока не превышают 30 мВт/м^2. В Юго-Восточной части

Сиазаньской моноклинали значение плотности теплового потока достигает 50 мВт/м^2. В Абшеронском районе величины плотности теплового потока колеблются в широких пределах от 20 до 90 мВт/м^2. Шамахы-Гобустанский район характеризуется значениями плотности теплового потока в пределах 70-90 мВт/м^2 с уменьшением его в направлении на юго-восток.

Составлены кривые изменения температуры T^{0}C вдоль профиля Самур-Баку на глубинах 1000 м, 2000 м, 3000 м. Выявлено, что температура на глубинах 1000-3000 м постепенно растет. Максимумы температурной кривой на различных интервалах глубин совпадают по горизонтали. Также, с глубиной прослеживаются значения минимумов.

Составлена схема гравитационного поля Юго-Восточного Кавказа, который представлен отрицательными аномалиями. Южная часть профиля характеризуется гравитационным минимумом с амплитудой -115 мГал.

Современные вертикальные движения земной коры указывают на поднятия в западной части Прикаспийско-Губинского района. Максимальное значение этой скорости составляет 6 мм/год. А в восточной части наблюдаются опускание со скорости 1 мм/год. В зоне мегантиклинории Большого Кавказа также наблюдаются поднятия. Максимальное значение этой скорости составляет 8 мм/год. На Абшеронском полуострове наблюдаются опускания. Максимальное значение этой скорости составляет 8 мм/год.

В Юго-Восточном Кавказе уменьшение GPS скорости наблюдается в Сиазани (SIYE), а увеличение наблюдается в Шамахы (MEDR). Прямая, соединяющая эти пункты, перпендикулярна к ГКН. Разность GPS скоростей между пунктами наблюдений Шемахы (MEDR) и Сиазань (SIYE) показывают, что сокращение земной коры поперёк профиля Самур-Баку равно 4 мм / год.

Пространственное распределение землетрясений с M≥4 указывает, что их местоположение, в основном, совпадает с градиентными зонами поля деформации на поверхности Земли.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики (Грант № EİF-KETPL-2015-1(25)-56/27/2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология Азербайджана, том V, Физика Земли, Баку, Издательство "Nafta-Press", 2005, 352 стр.
2. Булах Е.Г., Маркова М.Н., Тимошенко В.И., Бойко П.Д., 1984. Математическое обеспечение автоматизированной системы интерпретации гравитационных аномалий. Киев. Наукова Думка. 112с.

3. Булах Е.Г., Маркова, М.Н., 1992. Решение обратных задач гравиметрии методом подбора. Геофизический журнал. №4. С.9-19.
4. Кадиров Ф.А., 2000. Гравитационное поле и модели глубинного строения Азербайджана. Нафта-пресс. Баку. 112с
5. Kadirov F.A., Gadirov A.H., 2014. A gravity model of the deep structure of South Caspian Basin along submeridional profile Alborz–Absheron Sill.- Global and Planetary Change, V. 114, 2014, P.66-74. Doi:10.1016/j.gloplacha.2013.09.001.
6. Егоров А.С., 2004. "Глубинное строение и геодинамика литосферы Северной Евразии : По результатам геолого-геофизического моделирования вдоль геотраверсов России". СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 200с.
7. Козленко М.В., Козленко Ю.В. 2016. Гравитационное моделирование литосферы центральной части Крымско-Черноморского региона. ISSN 1999-7566. Геология и полезные ископаемые Мирового океана.*№ 3*. Киев. С. 5-17.
8. Гаджиев Р.М., 1965. Глубинное геологическое строение Азербайджана. Азерб. Гос. Изд-во. Баку. С.200
9. Гаджиев Р.М., Кадиров Ф.А., 1984. Отчет о научно-исследовательских работах по теме: "Высокоточные гравиметрические наблюдения на Прикаспийском профиле Самур-Баку-Астара". Фонды Института геологии АН Азерб.ССР. Баку.
10. Кропоткин П.Н., Люстих Е.Н., Повало - Швейковская Н. Н. 1958. Аномалии силы тяжести на материках и океанах. Издательство Московского Университета, 77с.
11. Ахмедбайли Ф.С., Мамедов А.В, Ширинов Н.Ш, Шихалибейли Э.Ш. 1991. Неотектоническая карта Азербайджана. Азербайджан аэрогеодезия.
12. Гаджиев Р.М., Кадиров Ф.А., Кадыров А.Г., Кунстман В.В., 1987. Выявление скрытых периодичностей в современном вертикальном движении земной коры на профиле Улан Хол-Баку-Астара. Изв. АН Азербайджанской ССР, Серия наук о Земле, №1, с.57-62.
13. Карта скоростей современных вертикальных движений земной коры Абшеронского полуострова. 1986. Масштаб 1:100000, М., ГУГК.
14. Касьянова Н.А., 2003. Экологические риски и геодинамика. – М.: Научный мир. -332с.
15. Лилиенберг Д.А., 1980. Опыт комплексного картирования современной геодинамики (на примере Азербайджанской ССР). Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. Результаты исследований по международным геофизическим проектам. Издательство «Наука». Москва. с. 65-76.
16. Ященко В.Р., 1974. Современные вертикальные движения Западного прикаспия по данным повторного нивелирования. Геодезия и картография. №2. 24-25с.

17. Ященко В.Р., 1989. Геодезические исследования вертикальных движений земной коры. М.: "Недра". 192с.
18. Kadirov F.A., 2011. Report on scientific-research work on "Modern geodynamics of Azerbaijan and seismic hazard (based on GPS, seismic and geophysical data)". Foundation of the Institute of Geology and Geophysics of ANAS (in Azerbaijan).
19. Kadirov F., Floyd M., Alizadeh A., Guliev I., Reilinger R., Kuleli S., King R., Toksoz N. 2012. Kinematics of the eastern Caucasus near Baku, Azerbaijan. J. Nat. Hazards, doi:10.1007/s11069-012-0199-0.
20. Kadirov F.A., Mammadov S.A., Reilinger R., McClusky S. 2008. Some new data on modern tectonic deformation and active faulting in Azerbaijan (according to Global Positioning System Measurements). Proceedings Azerbaijan National Academy of Sciences. The Sciences of Earth. 1, 82-88
21. Reilinger R. and 22 others. 2006б. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, J. Geophys. Res., BO5411, doi:10.1029/2005JB004051.
22. Herring T.A. 2004. GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program version 4.1. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge. MA.
23. King R.W., Bock Y. 2004. Documentation of the MIT GPS analysis software: GAMIT. Mass. Inst. of Technol. Cambridge.
24. Кадиров Ф.А., Гулиев И.С., Фейзуллаев А.А., Сафаров Р.Т., Маммадов С.К., Бабаев Г.Р., Рашидов Т.М. 2014. Деформации земной коры в Азербайджане по GPS данным и их влияния на сейсмичность и грязевой вулканизм. Физика Земли, № 6, с. 1–10
25. Shen Z., Jackson D.D., Ge B.X. 1996. Crustal deformation across and beyond the Los Angeles Basin from geodetic measurements. Journal of Geophysical Research, 101 (B12), 2795727980. http://dx.doi.org/10.1029/96JB02544.
26. Геология Азербайджана. 2005. Том IV – Тектоника. Nafta-Press. Баку. 506с.

УДК 550. 343. 6.42. 550 (575)

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ УЗБЕКИСТАНА

Р.К. Умурзаков
Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

В данной статье изложены результаты режимных наблюдений за период 1993-2015гг по выявлению аномальных проявлений молекулярного водорода гидрогеосейсмологических полях Юго-Западного Узбекистана и рассматриваются особенности изменения молекулярного водорода в подземных водах связанных с сейсмичностью.

Ключевые слова: молекулярный водород, предвестник, землетрясения, аномалия, подземная вода

EATURES OF CHANGE OF MOLECULAR HYDROGEN IN UNDERGROUND WATERS OF UZBEKISTAN

R.K.Umurzakov
Institute of seismology of G.A.Mavljanova of AN РУз, Tashkent, Uzbekistan

This article presents the results of regime observations for the period 1993-2015gg to identify abnormal manifestations of molecular hydrogen gidrogeoseysmologicheskih fields Southwestern Uzbekistan and change the features of molecular hydrogen in groundwater-related seismicity.

Актуальность. Водород – это один из самых реакционных и подвижных легких газов, обладающий высокой теплопроводностью и широко распространен в виде разнообразных соединений в подземных водах.

В многочисленных случаях, во время подготовки сейсмических событий отмечаются экстремальные концентрации газов в подземных водах, фиксируемые как предвестники землетрясений. В связи с этим изучение особенностей изменения молекулярного водорода в подземных водах является актуальным [1].

В данной работе мы рассматриваем особенности изменения молекулярного водорода в подземных водах в связи с сейсмичностью.

Анализ научных трудов многочисленных авторов показывает, что во многих случаях перед сильными землетрясениями проявляются аномалии газо-химических показателей подземных вод [2].

Результаты наблюдений за изменением молекулярного водорода в подземных водах проводились в скв. №8, прогностической станции «Шурчи». Глубина перфорации от 155 до 175 м и приурочена к четвертичным отложениям, где водовмещающими породами являются гравийно-галечники с прослоями песков. Расход самоизливающейся скважины составляет 6,0 л/с, минерализация 0,33 г/л.

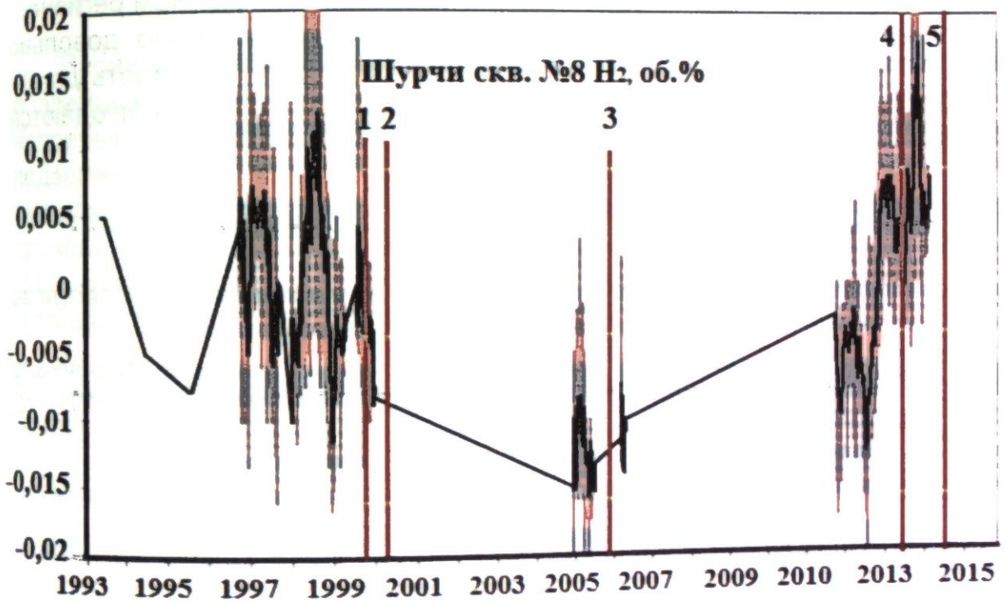


Рис №1. График изменения молекулярного водорода в скв. №8 за период 1993-2016 гг. Землетрясения: 1- Камаши 31.10.1999 г., M=5.2; 2- Камаши 20.04.2000 г., M=5.5; 3- Гиндикуш 14.12.2005 г., M=7.0; 4- Маржанбулак 26.05.2013 г., M=6.1; 5- Гиндикуш 14.06.2014 г., M=6.6.

График изменения H2 за период 1993-2016 гг. можно условно разделить на три части по проявленным аномалиям.

Первая - с 01.11.1996 г. по 01.11.1999 г., аномальное изменение молекулярного водорода возможно перед подготовкой довольно сильных землетрясений, с эпицентром в п. Камаши 31.10.1999 г. с M = 5.2, H=10 км; 20.04.2000 г., M=5.5, H=10 км.

Вторая - появлением его перед Гиндикушским землетрясением (14.11.2005 г., M=7.0) с 02.02. 2005 г. по 01.07.2005 г.

Третья - начиная 02.12.2011 г. по 15.04.2014 г. В этот период произошли Маржанбулакское землетрясение (26.05.2013г., M=6.1) и серия Гиндикушских землетрясений.

Это свидетельствует о нарастании упругой деформации перед сейсмической активизации в районе исследований. По мере роста упругой деформации и давления увеличивается растворимость газов в подземных водах. Благодаря исключительной подвижности и обладая высокой теплоемкостью, водород мигрирует через микропоры, трещины, обусловливая своё повсеместное взаимодействие с компонентами пород. По нашим наблюдениям, по скважинам четвертичного водоносного горизонта, аномалии H_2 были незначительными. Из рис. 1 видно, что между аномальными значениями наблюдаются отсутствие H2 в течение довольно длительного периода, с 1993 г. до 31.10. 1996 г., с 01.01.2000 г. по 01.02. 2005 г., с 02.07.2005 г. по 01.12.2011 г., что и совпадает с относительным сейсмическим затишьем в данном регионе.

В целом для исследуемых подземных вод характерно довольно низкое содержание (0,005-0,05 об. %) растворенного H2, вплоть до его отсутствия. А в периоды, сейсмической активности, наблюдаются аномальные проявления H2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Султанходжаев А.Н. и др. Геохимические методы прогноза землетрясений, М; Наука 1992г., 213 стр.
2. Семенов Р.М., Смекалин О.П. Сильные землетрясения на Байкале 27.08.2008г. и его предвестники. Геология и геофизика, 2011г., 52 том, №4, 521-528 стр.

УДК 550.343(550.83+550.84)

ЗОНА ВЛИЯНИЯ ГИДРОГЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДВЕСТНИКА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ (CO_2)

Ш.С.Юсупов, Л.Ю.Шин
Институт сейсмологии АН РУз. Ташкент, Узбекистан

Проанализированы все аномальные проявления параметра (CO_2) подземных вод исследованных водопунктов за 40 лет (1976-2016 гг.) непрерывного наблюдения. Выявлены предвестниковые аномалии подземных вод (более 180 случаев), связанные с сейсмической активизацией. Установлена связь между временем аномальных проявлении и параметрами землетрясений, вероятностных размеров зоны чувствительности газо-химического предвестника землетрясений с помощью корреляционно-регрессионного анализа.

Ключевые слова: землетрясение, эпицентр, магнитуда, аномалия, регрессионно-корреляционный анализ, зона чувствительности, предвестник

REGION OF INFLUENCE OF THE HYDROGEOSEJSMOLOGICHESKY HARBINGER OF EARTHQUAKES (CO2)

Jusupov S.S., Shin L.J.
Institute of seismology of AN РУз. Tashkent, Uzbekistan

All abnormal exhibitings of parametre (CO2) underground waters of the investigated water points for 40 years (1976-2016) continuous supervision are analysed. Are revealed предвестниковые anomalies of underground waters (more than 180 cases), bound to seismic activization. Between time abnormal exhibiting and parametres of earthquakes, the likelihood dimensions of a region of sensitivity of a gazo-chemical harbinger of earthquakes connection is established with the help korreljatsionno-regressionnogo the analysis.

Keywords: earthquake, epicentre, magnitude, anomaly, the regressionno-correlation analysis, a sensitivity region, a harbinger

Введение

Наблюдения за режимом и составом подземных вод, наряду с другими методами, являются одной из важнейших составляющих

мониторинга сейсмической активности региона. К настоящему времени в различных сейсмоактивных регионах мира зарегистрированы аномальные изменения газо-химического состава (в том числе углекислый газ) в подземных водах, возникающие перед землетрясениями в зоне чувствительности наблюдательного пункта.

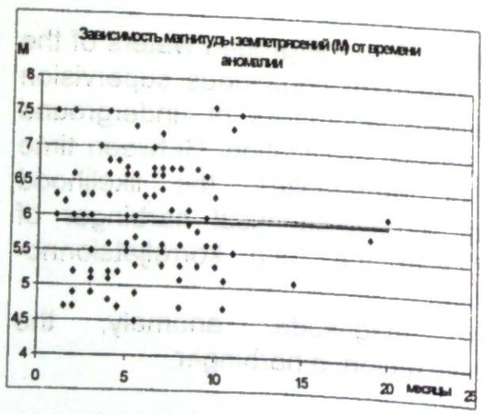
В работе рассмотрены, с помощью корреляционно-регрессионного анализа, наличие линейной зависимости времени наблюдаемых аномалий углекислого газа от параметров землетрясения (магнитуда землетрясения и эпицентральное расстояние).

Основная часть. Наблюдения за вариациями углекислого газа проводились постоянно на водопунктах прогностических станций, расположенных во всех сейсмоактивных районах Узбекистана. Измерения проводились на высокочувствительном газовом хроматографе с частотой 5 раз в неделю. Пробы газа из подземных вод отбирались методом вакуумной дегазации. За период с 1976 г. по 2016 г. было обнаружено около 180 случаев аномального проявления компонента CO_2 перед, вовремя и после землетрясений, сюда же входят аномальные проявления не сопровождавшиеся землетрясением. На основе этих данных были составлены графики (рис. 1, 2).

На рис. 1 и 2 показаны зависимости магнитуды землетрясения от времени аномалий величины CO_2 (рис. 1) и от эпицентрального расстояния (рис. 2). Рассчитанные коэффициенты корреляции этих величин соответственно равны 0.0001 и 0.002, что свидетельствует об отсутствии какой-либо связи между рассмотренными параметрами.

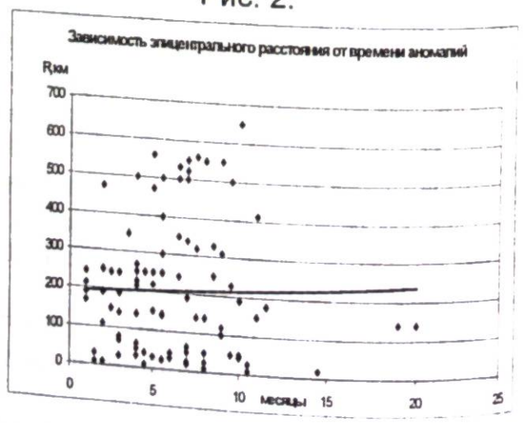
Установлено, что физический процесс, вызывающий появление аномалий протекает в наблюдательном пункте примерно от 1 до 11 месяцев до землетрясения (рис. 1, 2), подтверждающий, что газо-химический предвестник (CO_2) является среднесрочным.

Рис.1.



M=0.0025ΔT+5.9185

Рис. 2.



R=2.04007ΔT+191.58

Это соответствует мнениям и других авторов (Зимина Т., 2002; Гидрогеохимические особенности, 1977; Моргунов В.А., 1999; Киссин И.Г., 2009; Копылова Г.Н., 2008,Серафимова и др., 2010, Султанходжаев А.Н., 2006 и т.д.) [1-8], которые утверждают, что длительность аномалий среднесрочного предвестника недели-месяцы. В данном случае самый короткий период аномалии с начала ее проявления до свершения землетрясения составляет 1 месяц. Прогноз в этом случае начинается минимум с момента смены знака вариации. А это приходится на промежуток времени, максимум 0,5 месяцев (т.е., 2 недели).

Главной задачей при изучении любого предвестника и использовании его в эмпирическом прогнозе является установление связи времени возникновения предвестника ΔT (интервала времени от момента его появления до момента землетрясения) с энергией землетрясения (M) и эпицентральным расстоянием (R). С помощью этой связи, используя несколько станций, по мнению Е.А. Чернявского (1937) и Шулейкина (2006) [9, 10] можно определить энергию готовящегося землетрясения и координаты его эпицентра.

Пространственные размеры зоны подготовки землетрясений не подчиняются эмпирической формуле $R \sim e^M$ (где R - эпицентральное расстояние, M – магнитуда землетрясения), пригодной для событий в долгосрочных прогнозах (Сидорин, 1979; Соболев, 1993) [11, 12]. Объясняется это наличием неоднородности напряженно-деформированных процессов в земной коре непосредственно перед землетрясениями, которая косвенно проявляется в мозаичной структуре различных геофизических параметров (Morgounov V.A., 2004) [13]. Отсутствие значимой связи между величиной аномалии CO_2 (время аномалии) с расстоянием до эпицентра и магнитудой землетрясений, показанной на рис. 1 и 2, по-видимому, может быть связано с неоднородным по пространству выходом газа в подземные воды, основного агента изменения квазистатического аномального проявления в водоносном горизонте. Содержание его в подземных водах тесно связано с состоянием деформационных процессов в водосодержащих породах в период активного трещинообразования при подготовительной стадии землетрясений. Как видно, указанный выше механизм образования аномалий скорее отражает сложность быстропротекающих тектонических процессов в земной коре непосредственно перед землетрясением, но не дает окончательного ответа о природе этих аномалий.

При построении диаграмм (рис.3) использовались только те сейсмические события, для которых можно было выделить «чистые» предвестниковые вариации, т.е. такие, в которых четко фиксировался момент аномалии и её экстремум. Таких землетрясений у нас около 100 случаев. Надо сделать оговорку, что если аномалия появлялась перед

землетрясением два раза (Руденко и др., 1996) [14], то рассматривалась только первая аномалия, как фиксирующая момент попадания пункта наблюдения в зону пространственно-временного влияния очага готовящегося землетрясения. Если же аномалия наблюдалась перед двумя землетрясениями с близкорасположенными очагами, и второе землетрясение, имевшее большую энергию, происходило через несколько часов после первого (Kondo G, 1968; Outkin V.I., 1997) [15,16], то в качестве репера бралось первое землетрясение, как указывающее в некотором приближении на окончание заключительной стадии подготовки этих землетрясений.

На рис.3 представлена зависимость M от lgR, и соответствующая прямая линия регрессии.

Коэффициент корреляции r вычислялся для сочетания пар величин преобразований: (M, lgR). Сочетание преобразований, для которых будет наибольшее значение, является той комбинацией, которой соответствует наиболее сильная линейная связь.

В дальнейшем рассматривались регрессионная модель вида:

$$M = 1{,}17\lg R + 3{,}5 \qquad (1)$$

В свою очередь

$$\lg R = (M-3{,}5)/1{,}17 \qquad (2)$$

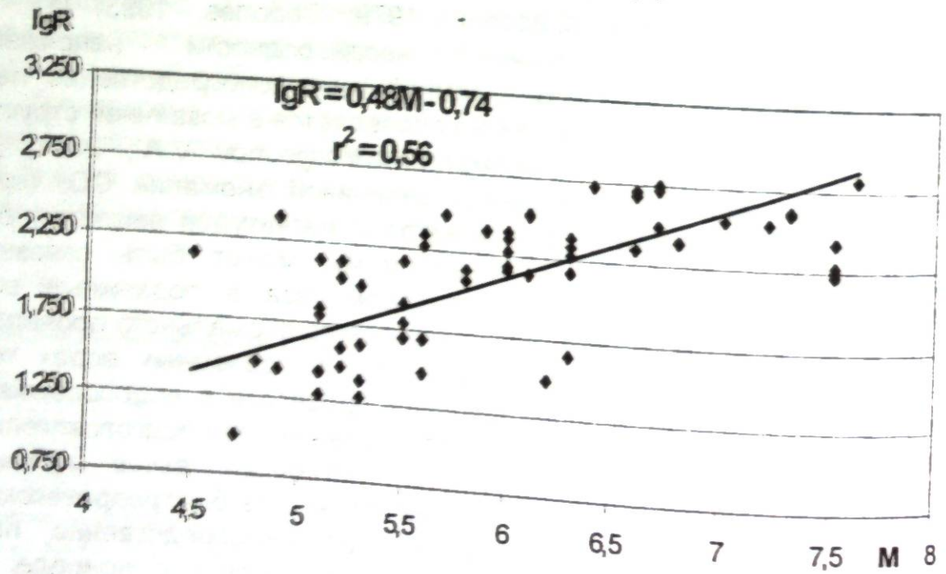


Рис.3. Зависимость магнитуды землетрясений от эпицентрального расстояния.

Из выражения (1) следует, что характерные размеры зоны развития гидрогеологических предвестников землетрясений с M = 5 составляют

примерно 20 км, для землетрясений с M=6 – 140 км, для землетрясений с M = 7 –1000 км.

Изменения режима подземных вод, наряду с остаточными явлениями в грунтах, фигурируют в шкале интенсивности землетрясений как один из показателей вариации подземных вод. Гидрогеологические эффекты, регистрируемые после крупных сейсмических событий, чрезвычайно разнообразны и могут проявляться на расстояниях, вплоть до нескольких сот километров от эпицентра. К ним относятся: изменения уровня воды в колодцах и скважинах, изменения дебитов источников и самоизливающихся скважин, изменения химического, газового и изотопного состава подземных вод. Известны случаи исчезновения источников и появления новых очагов разгрузки, образования грязевых вулканов и т.д. (Михайлов и др., 2003) [17]. Даже этот, далеко не полный список примеров говорит о том, что сейсмичность необходимо рассматривать как один из главных режимообразующих факторов подземных вод. Это подтверждают и наши многолетние наблюдения, результаты которых изложены во многих научных трудах (Мавлянов, Султанходжаев и др., 1973; Мавлянов, Касымов и др.1973; Султанходжаев, 2006; Юсупов и др., 2014; Нурматов и др., 2016; Чернов и др., 2016; Юсупов, Шин, 2016) [18-24]. Установлено, что все землетрясения, проявляющиеся в сейсмоактивных полигонах (для Центральной Азии) с величиной M/lgR ≥ 2,5, вызывают ощутимые аномальные изменения в режиме подземных вод.

Выводы

Указанные зависимости (1 и 2) могут применяться для оценки размеров области эффективного развития приповерхностной дилатансии в водовмещающих породах в зависимости от величины магнитуды землетрясения. Они описывают область проявления гидрогеологических предвестников (CO_2) в режиме водопроявлений, характеризующихся нормальной тензочувствительностью. Величина M/lgR, применяется в качестве параметра, характеризующего интенсивность процессов подготовки землетрясений с учетом удаленности соответствующих очагов от пункта наблюдения. Сопоставляя наши результаты с В.И. Уломовым (1977) [25] мы пришли к тому, что для землетрясений с 10-кратным размером очага соответствуют землетрясения с M/lgR ≥ 2,5 для нашего региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зимина Т. Предвестники землетрясений. WWW.bestreferat.ru/referat-22906.html. 2002.
2. Моргунов В.А. Реальности прогноза землетрясений// Физика Земли. 1999. №1. С.79-91.

3. Киссин И.Г. Флюиды в земной коре. Геофизические и тектонические аспекты. м.: Наука. 2009. 328 с.
4. Копылова Г.Н. Оценка сейсмопрогностической информативности данных уровнемерных наблюдений на скважине Е1, Камчатка (по данным наблюдений 1996-2007 гг.)// Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока. Тр. региональной научно-техн. конф. Т. 2. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. С. 24-28.
5. Копылова Г.Н. О связи режима подземных вод с сейсмичностью и деформациями земной коры на стадиях подготовки сильных землетрясений // Разведка и охрана недр. № 7. 2008. С. 37-45.
6. Серафимова Ю.К., Копылова Г.Н. Среднесрочные предвестники сильных (M ≥ 6.6) землетрясений Камчатки 1987-2007 гг.: ретроспективная оценка их информативности для прогноза // Вулканология и сейсмология. 2010. № 4. С. 3-12.
7. Султанходжаев А.Н. и др. Гидрогеосейсмологические предвестники землетрясений. Ташкент: ФАН, 1983. 127 с.
8. Султанходжаев А.Н., Зиган Ф.Г., Латипов С.У. и др. Вариации газо-химического состава подземных вод Ташкентского геодинамического полигона/ Отв. ред. В.И. Уломов, С. М. Касимов. В сб.: Исфара-Баткенское и Таваксайское землетрясения 1977 года. Ташкент: Фан. 1981. С. 134-141.
9. Чернявский Е.А. К вопросу о методике вывода суточного хода атмосферно-электрического потенциала// Информ. сб. по земному магнетизму и электричеству. М.: Гидрометеорологическое изд-во, 1937. С. 82-86.
10. Шулейкин В.Н. Атмосферное электричество и физика Земли. М.: Институт проблем нефти и газа РАН. 2006. 159 с.
11. Сидорин А.Я. Зависимость времени проявления предвестников землетрясений от эпицентрального расстояния// ДАН СССР. Т 245. №4. 1979. С. 825-828.
12. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука,1993. 313 с.
13. Morgounov V.A. Slip weakening, strain and short-term preseismic disturbances// Annals Geophys. 2004. V.47. N1. PP. 133-149.
14. Руденко О.П., Дружин Г.И., Вершинин Е.Ф. Измерения атмосферного электрического поля и естественного электромагнитного излучения перед камчатским землетрясением 13.11.1993 г., M = 7.0// Докл. РАН. Т.348. №6. 1996. С. 814-816.
15. Kondo G. The variation of the atmospheric electric field at the time of earthquake// Kakioka Magnet. Observ.Mem. 1968. V.13. N1. PP. 11-23.
16. Outkin V.I., Yurkov A.K., Krivasheev S.V., Chi-Yu King. Radon behavior in connection with rock bumps (shocks) in deep mines and tectonic earthquakes. Yekaterindurg: RAS Ural's Branch. Institute of Geophysics. 1997. 17 p.

17. Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Бузевич А.В., Смирнов С.Э. Вариации спектров мощности электрического поля приземной атмосферы на Камчатке// Геомагнетизм и аэрономия. Т.43. №3, 2003. С. 750-758.
18. Мавлянов Г.А., Султанходжаев А.Н. и др. Явление изменения химического состава подземных вод при землетрясении. Диплом №129 по заявке № 01-7928 от 14 апреля 1971 года. Бюлл. №42, 1973.
19. Мавлянов Г.А., Касимов Х.К., Султанходжаев А.Н., Хасанова Л.А., Закиров Д.М. Гидрогеохимические особенности подземных вод некоторых сейсмоактивных районов Узбекистана. Ташкент: Фан, 1973. 95 с.
20. Султанходжаев А.Н. Основы гидрогеосейсмологии. Ташкент. 2006. 164 с.
21. Юсупов Ш.С., Нурматов У.А., Шин Л.Ю. и др. Аномальные вариации гидрогеосейсмологических параметров в период возникновения Туябугизского и Маржонбулакского землетрясений 25 и 26 мая 2013 г.// ДАН РУз. №6. Ташкент. 2014. С. 38-41.
22. Нурматов У.А., Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю., Юсупджанова У.А. Связь особенностей проявления гидрогеосейсмологических предвестников землетрясений с сейсмотектонической обстановкой// Геология и минеральные ресурсы. №2. Ташкент: Фан, 2016. С. 38-44.
23. Чернов И.Г., Юсупов Ш.С. и др. Изучение вариаций изотопного и газового составов подземных вод Приташкентского артезианского бассейна в связи с сейсмичностью// Экологический вестник Узбекистана. №4(180). Ташкент. 2016. С. 32-34.
24. Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю. Зона чувствительности гидрогеосейсмологического предвестника землетрясений (углекислый газ) // Геология и минеральные ресурсы, №6. Ташкент. 2016. С. 53-56.
25. Уломов В.И. Методика поиска прогностических признаков землетрясений. Информационное сообщение АН РУз, №186, 1977. 11 с.

УДК 622.023.2

О МОДЕЛИРОВАНИИ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Н.С. Адигамов, Я.И. Рудаев, М.А. Мамадалиева
КРСУ, г. Бишкек, Кыргызская Республика

Рассматривается задача моделирования деформационного поведения геоматериалов при сжатии с учётом запредельной ветви. Уравнение состояния дополнено соотношением, устанавливающим связь между начальными несовершенствами и повреждаемостью. При этом процесс деформации, сопровождаемый необратимыми структурными флуктуациями, отождествляется с формированием иерархии диссипативных сред.

Ключевые слова: деформация, разрушение, напряжение, горные породы, неустойчивость, параметры несовершенства и повреждаемости.

ТОО ТЕКТЕРИНИН МАЙЫШУУ ЖҮРҮМ-ТУРУМУН МОДЕЛДӨӨ ЖӨНҮНДӨ

Адигамов Н.С., Рудаев Я.И., Мамадалиева М.А.
КРСУ, Кыргыз Республикасы, Бишкек шаары

Кысылуудагы геоматериалдардын майышуу жүрүм-турумун моделдөө маселеси чектен чыккан абалды эсепке алуу менен каралган. Абалдын теңдемеси, баштапкы жаракалар менен бузулуулардын байланышын аныктоо менен толукталды. Мындай учурдагы кайта келгис стуктуралык өзгөрүштөр менен коштолгон майышуунун жүрүшү иерархиялык диссипативдик чөйрөнүн пайда болушу менен дал келтирилди.

Өзөктүк сөздөр: майышуу, кыйроо, чыңалуу, тоо тектери, туруктуу эместик, жаракалуулуктун жана бузулуулардын көрсөткүчтөрү.

ON MODELING OF DEFORMATION BEHAVIOR OF ROCKS

N.S. Adigamov, Ya.I. Rudaev, M.A. Mamadalieva
KRSU, Bishkek, Kyrgyz Republic

We consider the problem of modeling of the mountain rocks deformation behavior under the conditions of geomaterials compression taking into account the evanescent (post-critical) branch. State equation is complemented by ratio that establishes a connection between the initial imperfections and damage rate. In this case, the deformation is identified with the formation of dissipative medium hierarchy, accompanied by irreversible structural fluctuations.

Key words: deformation, fracture, stress, rocks, instability, parameters of imperfections, damage

Введение

Развитие представлений о прочности твердых тел опирается на изучение особенностей деформирования вплоть до разрушения. Они, в свою очередь, требуют сведений об основных механических свойствах материала и характеристик процесса нагружения [1, 2]. Анализ экспериментальных и теоретических данных позволяет связать необратимые деформационные процессы с наблюдаемыми нелинейными эффектами [3, 4]. Так, на смену существующим взглядам на необратимость, как на квазиравновесный процесс, приходят представления о неравновесных состояниях. При этом деформационный процесс можно рассматривать как систему структурно-фазовых переходов [3, 4, 5].

Следуя [6-8], считаем, что моделирование реальной физико-механической системы динамического типа начинается с введения координат состояния $\eta_1, \eta_2, \ldots, \eta_k$, называемых параметрами порядка. К ним прибавляется дополнительное множество параметров $T_1, T_2, \ldots, T_k$, имитирующих отклик на изменение параметров η_k и представляющих собой внешние воздействия. Кроме этого, предполагается наличие параметров $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_k$, ответственных за дефекты исходного состояния системы и появившиеся в процессе её нагружения.

Горные породы изначально относятся к неоднородным материалам и в стационарном состоянии, устойчивом относительно малых возмущений, могут быть интерпретированы как диссипативные структуры [9]. В соответствии с известной [10, 11] классификацией пространственно-временных структур, горные породы на больших глубинах могут считаться автоструктурами – локализованными пространственными образованиями, устойчиво существующими в диссипативных неравновесных средах и не зависящими от изменения начальных и граничных условий. Именно поэтому процесс деформации и разрушения горных пород может рассматриваться как иерархия неустойчивостей, обусловленных самоорганизацией, реализуемой в системе, находящейся вдали от термодинамического равновесия. Приведённые рассуждения свидетельствуют о полезности привлечения

синергетических представлений [12] к описанию равновесия и устойчивости горных пород.

В качестве исходной информации принимаются паспортные зависимости [1, 2] максимального касательного напряжения T и относительного изменения объёма θ от максимального сдвига Γ, построенные на основании известных опытов на одноосное сжатие [13]. На рис. 1 дано схематическое представление паспортных зависимостей $T=T(\Gamma)$ (кривая 1), $\theta=\theta(\Gamma)$ (кривая 2).

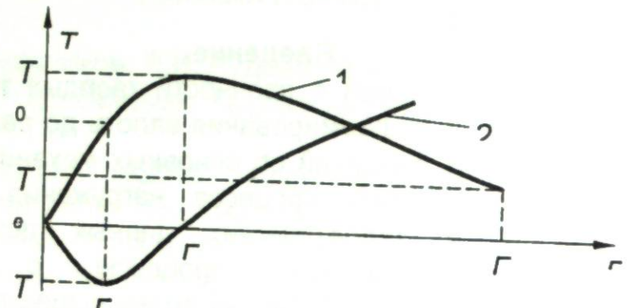


Рис. 1. Схематическое представление паспортных зависимостей $T=T(\Gamma)$ и $\theta=\theta(\Gamma)$

Упругий участок диаграммы деформаций $T=T(\Gamma)$ $(T\le T_e;\Gamma\le\Gamma_e)$ сменяется областью упрочнения, переходящей при $T\ge T_0$, $\Gamma\ge\Gamma_0$ в зону разупрочнения. После достижения критического сдвига Γ_c наступает разрушение. Опытными данными [13-15] установлено, что вблизи предела прочности $(T=T_0)$ изменение объёма близко к нулю (материал несжимаем). Здесь же происходит смена знака объёмной деформации. Последнее означает активизацию составляющей деформации разрыхления.

Для описания закономерностей деформирования горных пород введём нормировку координат [1]

$$F=\frac{T}{T_e}-1;\quad \eta=\frac{\Gamma}{\Gamma_c};\quad \vartheta=\frac{\theta}{\theta_e}, \tag{1}$$

где θ_e – объёмная деформация, соответствующем пределу упругости.

На основании зависимостей (1) схематизированные паспортные диаграммы представлены в форме $F=F(\eta)$, $\vartheta=\vartheta(\eta)$ (рис. 2).

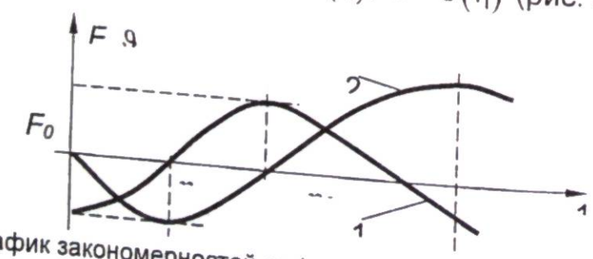


Рис. 2. График закономерностей деформирования горных пород

Уравнение состояния

Пусть текущему напряжённо-деформированному состоянию отвечает потенциальная функция [1] вида

$$V=V(F,\eta,\beta), \tag{2}$$

где β – параметр, ответственный за дефекты не только исходного состояния, но и появившиеся в условиях нагружения.

В процессе деформирования горные породы испытывают ряд состояний, смена которых имеет место в критических точках. Так, при $\eta=\eta_e$ (рис. 2) наступает пластичность и формируется новая диссипативная структура, которая при $\eta=\eta_0$ (запредельной области) сменяется ещё одной диссипативной структурой. По существу в деформируемом материале возникают синергетические эффекты [12].

Поскольку в процессе эксперимента на сжатие реализуется медленное внешнее воздействие, то указанные эффекты можно отнести к самоорганизации через управляющие параметры β.

Функцию (2) представим суперпозицией потенциала $V_p(F,\eta)$, ответственного за необратимые процессы и возмущения $S(\eta,\beta)$. Имеем

$$V=V(F,\eta,\beta)=V_p(F,\eta)+S(\eta,\beta). \tag{3}$$

Потенциальная составляющая функции записывается в виде разложения в ряд Тейлора вблизи состояния равновесия

$$V=V_0+V_1(\eta-\eta_e)+\frac{1}{2}V_2(\eta-\eta_e)^2+\frac{1}{3!}V_3(\eta-\eta_e)^3+\dots. \tag{4}$$

Функция V_p выбирается так, чтобы состоянию равновесия соответствовало $\eta=\eta_e$ и, следовательно, имело место равенство:

$$\frac{dV_p}{d\eta}=V_1+V_2(\eta-\eta_e)+\frac{1}{2}V_3(\eta-\eta_e)^2+\dots=0. \tag{5}$$

Таким образом, приходим к условию $V_0=V_1=0$. Если предположить, что изменения совершенной системы связаны с возрастающим нормированным напряжением $F\to F_0$, то моделирующая её потенциальная функция путём переноса начала координат может быть записана (рис. 2) в виде

$$V_p=\frac{1}{2}(F_0-F)\eta^2+\frac{1}{3}\eta^3+\dots. \tag{6}$$

Для возмущения примем морсовское разложение [8]

$$S(\eta,\beta)=\beta_0\eta+\frac{1}{2}\beta_2\eta^2+\frac{1}{3}\beta_3\eta^3+\dots. \tag{7}$$

Зависимость (7) путём соответствующей нелинейной замены может принять каноническую форму катастрофы [8]. Но такое преобразование приведёт к сложной нелинейной связи между нормированным напряжением F и параметром β. Можно показать, что

чувствительность материала к несовершенствам вполне определяется первым слагаемым разложения (7) и позволяет исключить все возмущения, кроме линейного.

С учётом сказанного для функции $V(F,\eta,\beta)$ можем записать

$$V(F,\eta,\beta)=\beta\eta+\frac{1}{2}(F_0-F)\eta^2+\frac{1}{3}\eta^3, \tag{8}$$

где $F_0=F|_{\eta=\eta_0}$ (рис. 2).

Равновесному состоянию отвечает уравнение

$$F=\frac{\beta}{\eta}+\eta+F_0, \tag{9}$$

где $\beta=\beta_1$ $(\beta<0)$, $\eta\in(0,1)$.

Уравнение (9) с позиций теории катастроф можно рассматривать как двумерное многообразие, включённое в пространство $|R^3|$ с координатными осями η,F,β. Состояния равновесия будут найдены для каждого $\beta=const$. Свойства устойчивости критических точек при этом легко определяются: все точки левее $\eta=\eta_0$, где $\eta\in(0,\eta_0)$ – локально устойчивые критические точки, а $\eta\in(\eta_0,1)$ – неустойчивые критические точки.

Таким образом, получено уравнение состояния (7), устанавливающее связь между нормированными максимальными касательными напряжениями F и сдвиговой деформацией η. В уравнение (7) входит управляющий параметр β, названный [8] параметром несовершенства.

Эволюционное уравнение

В [7] впервые введено представление о повреждаемости материала в процессе деформации и его характеристика – параметр повреждаемости. Указанная характеристика ω рассматривается как внутренний параметр состояния, эволюция которого определяется соответствующим кинетическим уравнением $\dot{\omega}=f(\omega)$, где $\dot{\omega}=d\omega/dt$, причем t – время. Удобным представляется связать параметры β и ω между собой, полагая параметр ω ответственным за текущее структурное состояние материала.

Для анализа физической природы повреждаемости обратимся к опытам, проведённым в Институте физики и механики горных пород НАН КР на различных геоматериалах [5]. При испытании на осевое сжатие осуществлялась регистрация акустической эмиссии образцов как результат трещинообразования. На рис. 3 дано схематическое представление характера процесса образования микротрещин.

Здесь по оси абсцисс отложена нормированная деформация η, а по оси ординат – отношение текущего количества трещин в образце (N)

к максимальному (N_{max}), отвечающему моменту разрушения. Отождествляя параметр повреждаемости ω с N/N_{max} и анализируя его эволюцию, приходим к выводу, что процесс деформирования может рассматриваться как многостадийный размытый необратимый фазовый переход [16-18]. На графике $\omega\sim\eta$ наблюдаются характерные для размытого фазового перехода особенности. Понятно, что переходу материала в запредельную область сопутствует смена типа устойчивости, обусловленная сильными структурными флуктуациями. Поэтому появление на графике $\omega\sim\eta$ точки перегиба $(\eta=\eta_0)$, соответствующей пределу прочности материала, вполне предсказуемо.

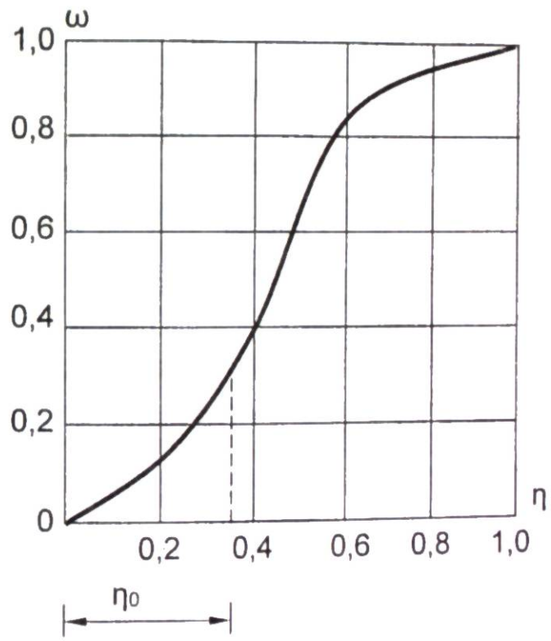


Рис. 3. Схематическое представление параметра повреждаемости от деформации

Отметим, что в области упругих деформаций параметр ω возрастает слабо. При переходе в пластическое состояние ω начинает интенсивно расти. Это объясняется природой остаточных деформаций начально неоднородных материалов, к которым, как указывалось выше, относятся горные породы. Здесь, помимо чисто сдвиговых процессов, существенный вклад в деформацию даёт разрыхление, сопровождающееся потерей связности, наличием поверхностей отрыва [19].

Кроме того, на участке упрочнения следует ожидать появления локализованных областей, в которых частицы материала измельчаются. Тем самым в образовавшейся структуре зарождаются ростки новой,

более сложной структуры, переход к которой совершается при смене типа устойчивости. В новом состоянии, при котором напряжение уменьшается с ростом деформаций, отмечается быстрое возрастание повреждаемости, а при появлении магистральной трещины $\omega \to 1$.

В рамках неравновесной статистической механики для описания повреждаемости горных пород может быть привлечён вариант уравнения Фоккера-Планка [1] в виде:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \eta}\left[R(\eta)\frac{1}{2}\lambda\frac{\partial \omega}{\partial \eta}\right] = 0. \qquad (10)$$

Здесь $R = R(\eta)$ – функция, ответственная за внутреннее скольжение и разрыхление в материале (коэффициент «дрейфа»), λ – коэффициент диффузии, принимаемый для горных пород постоянным.

С механических позиций уравнение (10) может быть рассмотрено как равенство изменения плотности вероятности параметра $\omega = \omega(\eta)$ дивергенции потока вероятности, взятой со знаком минус.

Статическое нагружение горных пород, соответствует стационарному состоянию. При этом из (10) при определённых условиях [12] имеем

$$\lambda\frac{d\omega}{d\eta} = 2R(\eta)\omega. \qquad (11)$$

Решение уравнения (11), следуя (7), будем искать в виде

$$\omega(\eta) = A\exp\left(-\frac{2\Phi(\eta)}{\lambda}\right), \qquad (12)$$

где интеграл

$$\Phi(\lambda) = -\int_0^{\eta} R(\eta)d\eta \qquad (13)$$

имеет смысл потенциала, а нормировочный множитель A определяется из условия

$$\int_{-\infty}^{\infty}\omega(\eta)d\eta = 1. \qquad (14)$$

Введение потенциала $\Phi(\eta)$ обуславливается привлечением методов теории катастроф к моделированию деформационных процессов горных пород с включением запредельной ветви. В таком случае очевидна ассоциация процесса с градиентной динамической системой [7]. Учитывая сильную нелинейность зависимости $\omega = \omega(\eta)$ (рис. 3), потенциальную функцию $\Phi(\eta)$ и антиградиент $R(\eta)$ этой функции можно представить в виде элементарной катастрофы сборки. Имеем

$$\Phi(\eta) = \frac{a\eta^2}{2} + \frac{b\eta^4}{4}; \qquad (15)$$

$$R(\eta) = -a\eta - b\eta^3, \qquad (16)$$

где a, b – постоянные, подлежащие определению.

Теперь понятно, что функция параметра повреждаемости на основании (12), (13), (15) определяется выражением

$$\omega = A\exp\left[\frac{1}{\lambda}\left(-a\eta^2 - \frac{1}{2}b\eta^4\right)\right]. \qquad (17)$$

Временная эволюция параметра повреждаемости будет удовлетворять уравнению

$$\frac{d\ln\omega}{dt} = -\frac{2}{\lambda}\left(a\eta + b\eta^3\right)\frac{d\eta}{dt}. \qquad (18)$$

Подставив результат (17) в условие нормировки и вычислив соответствующий интеграл, получим

$$A\left(\frac{m}{2}\right)^{1/2}\sqrt{\exp\lambda}K_{\frac{1}{4}}(\lambda) = 1, \qquad (19)$$

где $m = \frac{a}{b}$;

$$\lambda = \frac{a^2}{4\lambda b} = \frac{m^2 b}{4\lambda}, \qquad (20)$$

а $K_{\frac{1}{4}}(\lambda)$ – модифицированная функция Ганкеля.

Перейдём теперь к установлению парметров A, a, b, λ. Для этого принимаем, что переход геоматериалов в диссипативное состояние обусловлен достижением предела упругости $T = T_e$ (рис. 1), а смена диссипативных состояний (фазовая трансформация) происходит на пределе прочности $T = T_0$. Далее считаем, что именно последнему утверждению отвечает точка перегиба на зависимости $\omega = \omega(\eta)$ (рис. 3).

Полагая, с учётом сказанного,

$$\frac{d^2\omega}{d\eta^2}\Big|_{\eta=\eta_0} = 0, \qquad (21)$$

будем иметь

$$\frac{2b}{\lambda}\left(m\eta_0 + \eta_0^3\right)^2 - m_0 - 3\eta_0^2 = 0. \qquad (22)$$

Воспользуемся очевидным фактом, в соответствие которому

$$\omega\big|_{\eta=1} = 1, \qquad (23)$$

можно записать

$$\ln\frac{1}{A} = -\frac{2b}{\lambda}\left(2m^2 + 1\right). \qquad (24)$$

Таким образом, установлено, что при параметра теории $A, m, b/\lambda$ связаны между собой уравнениями (19), (22), (24).

Остановимся теперь на определении зависимости между параметрами повреждаемости и несовершенства.

Пусть при некотором значении параметра повреждаемости $\omega = \omega_e$ параметр несовершенства получает значение $\beta = \beta_e$, причем ω_e и β_e соответствуют пределу упругости горной породы. Допустим, что при изменении ω на малое значение $d\omega$ параметр β отклика уменьшается на величину, пропорциональную β. Тогда можно положить

$$d\beta = -\beta K(\omega - \omega_e)\, d\omega, \qquad (25)$$

где $K(\omega - \omega_e)$ – ядро, убывающее с ростом $\omega - \omega_e$.

Решение дифференциального уравнения (25) представимо в виде

$$\beta(\omega) = \beta(\omega_e)\, Q(\omega, \omega_e), \qquad (26)$$

причем

$$Q(\omega, \omega_e) = \exp\left[-\int_{\omega_e}^{\omega} K(\omega - \omega_e)\, d\omega\right]. \qquad (27)$$

Ядро оператора (25) примем в виде

$$K(\omega - \omega_e) = \frac{1 - n}{(\omega - \omega_e)^n}, \qquad (28)$$

где n – безразмерная постоянная величина.

Подставив (28) в (27), после вычисления интеграла можем записать

$$Q(\omega, \omega_e) = \exp\left[-(\omega - \omega_e)^{1-n}\right]. \qquad (29)$$

Теперь решение (26) уравнения (25) принимает вид

$$\beta(\omega) = \beta(\omega_e) \exp\left[-(\omega - \omega_e)^{1-n}\right], \qquad (30)$$

причём

$$\beta(\omega_e) = -\beta_e(T_0 + \eta_e). \qquad (31)$$

Таким образом, сформулирована модель, включающая уравнение состояния (9), дополненное эволюционным уравнением для параметра ω (18) и условием (30), устанавливающим связь между параметрами несовершенства и повреждаемости с определением четырех материальных констант $m, b/2\lambda, A, n$. Указанная модель пригодна для описания деформационного поведения геоматериалов вплоть до разрушения.

Не останавливаясь подробно на численной процедуре решения системы уравнений (19), (22), (24), (30), отметим лишь, что полученные значения материальных постоянных для некоторых горных пород [13] приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры констант, полученные при решении системы уравнений

Горная порода	m	$b/2\lambda$	A	n
Песчанник НВО	0,098	225,3	1,046	-2,64
Песчанник ВО	0,131	99,792	5,525	-2,81
Коелганский мрамор	0,139	96,349	1,132	-3,089
Биотитовый гранит	0,113	159,36	1,082	-2,17

Сопоставление теоретических и опытных данных

Результаты экспериментальных и теоретических исследований показаны на графиках (рис. 4). Здесь точками показаны экспериментальные значения параметра несовершенства β в зависимости от деформации η, полученные путем сопоставления диаграмм «напряжение-деформация» [13] и найденные из уравнения состояния (9). Сплошные линии соответствуют теоретическим значениям β, установленным по формуле (30).

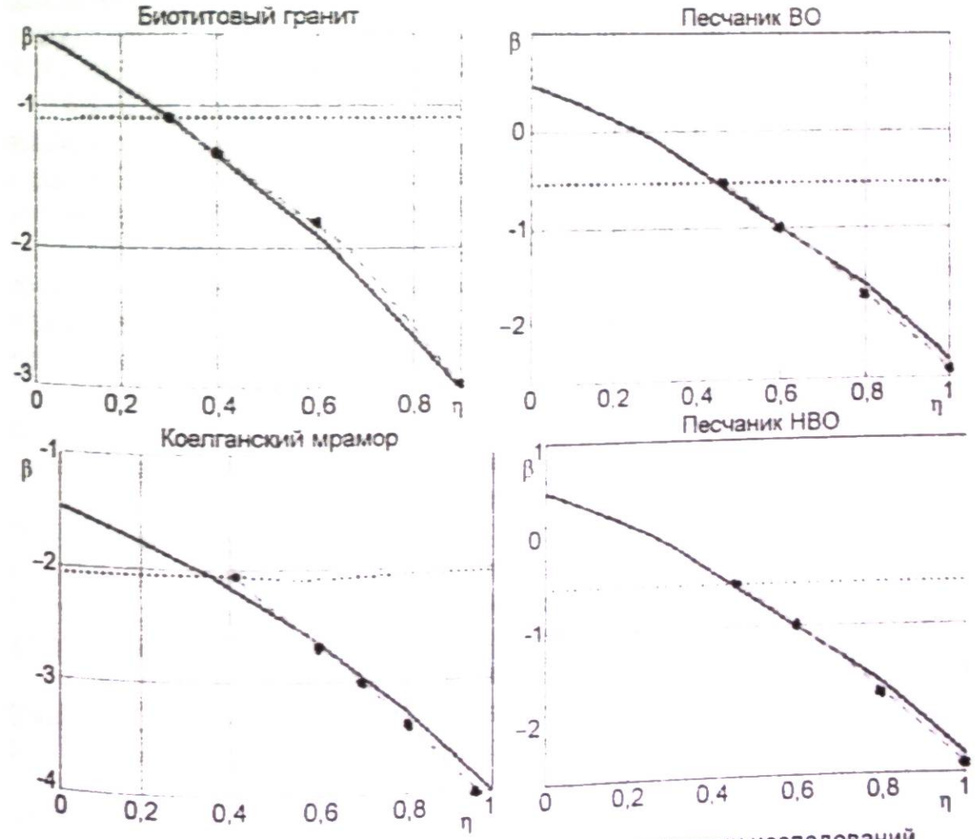


Рис. 4. Результаты экспериментальных и теоретических исследований

Заключение

Предложенную модель, включающую уравнение состояния (9), эволюционное уравнение для параметра повреждаемости (17) и выражение для параметра несовершенства (30), можно считать, с учётом обобщения на пространственный случай, приемлемой для постановки и решения задач анализа напряжённо-деформированного состояния в окрестностях горных выработок и при бурении скважин. Перспективность применения методов синергетики к задачам построения физически обоснованных нелинейных определяющих соотношений вполне оправдано. Это относится к описанию сред, для деформационного поведения которых характерна иерархическая необратимая смена диссипативных структур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адигамов Н. С., Рудаев Я. И. Уравнение состояния, учитывающее разупрочнение материала // ФТПРПИ.– 1999. №4. С. 24-32.
2. Шемякин Е.И. Вопросы прочности твердых тел и горных пород. Проблемы механики деформируемых твердых тел и горных пород. Сб. статей к 73-летию Е.И. Шемякина / Под ред. Д.Д. Ивлева и Н.Ф. Морозова.–М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.– 864 с. – ISBN 5-9221-0672-4.
3. Китаева Д.А., Пазылов Ш.Т., Рудаев Я.И. О приложениях методов нелинейной динамики в механике материалов // Вестник Пермского государственного технического университетата. Математическое моделирование систем и процессов. –2007. № 15. С. 46-70.
4. Адигамов Н.С., Рудаев Я.И. О фазовых переходах при сложном нагружении. // IV Международная научная конференция «Актуальные проблемы механики и машиностроения» 19-20 июня 2014 г. –Алматы. С. 184-188.
5. Адигамов Н.С., Тилегенов К.Т, Маматов Ж.Ы. О физической природе параметра повреждаемости // Материалы 3 научн.-практ. конф. КГУСТА. – Бишкек, 1999. – С. 94-99.
6. Dovgan V.I., Kitaeva D.A., Rudaev Ya.I. About structure formation self-organization at loading of quasibrittle materials // Proceeding of the XXXIII International Summer School-Conference «Advanced problems in mechanics» (APM'2005). Editor D.A.Indeitsev. St. Petersburg: Politechnical Publishing House, 2005. P. 61-66.
7. Kitaeva D.A., Rudaev Ya.I., Ordobaev B.S., Abdykeeva Sh.S. Modeling of concrete behavior under compression // Applied Mechanics and Materials. – 2015. Vol. 725-726. P. 623-628.
8. Работнов Ю.Н. О разрушении вследствие ползучести // ПМТФ.– 1963. №2. С. 113-123.
9. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. Кн. 1.– М.: Мир, 1984.– 350 с.
10. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости, флуктуаций.– М.: Мир, 1973.– 208 с.
11. Нелинейные волны, структуры и бифуркации / Ред. А.В. Гапонов-Грехов, М.И. Рабинович.– М.: Наука, 1983.– 263 с.
12. Пригожин И.Р. Неравновесная статистическая механика.– Череповец: Меркурий – Пресс, 2000.– 314 с.
13. Хакен Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам.– М.: УРСС: ЛЕНАНД, 2014.– 320 с.
14. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах.– М.: Недра, 1985.– 271 с.
15. Рудаев Я.И., Китаева Д.А., Мамадалиева М.А. Моделирование деформационного поведения горных пород // Записки Горного института. – 2016. Т. 222. С. 816-822.
16. Ставрогин А.Н., Тарасов Б.Г., Певзнер Е.Д. Запредельные характеристики хрупких горных пород //ФТПРПИ. – 1981. – №4. – С. 8-15.
17. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород.– М.: Недра, 1979.– 301 с.
18. Ролов Б.Н., Юркевич В.Э. Физика размытых фазовых переходов.– Ростов: РГУ, 1983.– 320 с.
19. Леонов М.Я. Механика деформации и разрушения.– Фрунзе: Илим, 1981.– 236 с.

УДК 552.08:53

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОБАРИЧЕСКИХ УПРУГО-ПЛОТНОСТНЫХ АНОМАЛИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ СЕЙСМО-ТЕКТОНИЧЕСКИ АКТИВНЫХ РЕГИОНОВ

В.А. Корчин
Институт геофизики им. С.И.Субботина НАН Украины, г. Киев

Термобарические зоны низких сейсмических скоростей (область понижения упругих параметров пород, их плотности и повышенной пористости) являются спусковым механизмом интенсивных упругих релаксационых процесов в земной коре в тектонически активных регионах в виде образования здесь очагов землятресений и разломов различной направленности, а также образования некоторых сейсмических границ, регистрируемых ГСЗ.

Ключевые слова: давление, температура, плотность, скорость упругих продольных волн, зоны инверсии плотности и скорости.

FEATURES OF THERMOBARIC ELASTIC-DENSITY ANOMALIES OF THE EARTH CRUST OF SEISMO-TECTONIC ACTIVE REGIONS

Valery Korchin
Institutes of Geophysics, NAS Ukraine, Kiev

Thermobaric low seismic velocity zones (the area of lowered elastic parameters of rocks, their density and enhanceab глбиннымle porosity) are the trigger mechanism of intensive relax processes in the Earth's crust tectonic active regions in a kind of appear here the earthquake epicentres and faults of different orientation and also formations of some seismic boundaries, registered by seismic methods.

Key words: pressure, temperature, density, longitudinal waves propagation velocity, velocity and density inversion zones.

Ведение

В недрах нашей планеты Земля постоянно происходят структурные и вещественные преобразования, провоцируемые внешним воздействием космоса, солнца, луны, изменения климата. Одни из них бесконечно длинные, другие мгновенные, но все они взаимосвязаны между собой. Одной из форм проявления современной сейсмо-

тектонической активизации большинства регионов на нашей планете являются изменения сплошности и структурной однородности глубинных горизонтов Земли. Эти нарушения, как, правило, регистрируются в виде сдвигов и землетрясений различного генезиса и на различных глубинах. Многие современные обзоры и трактаты указывают, в большей степени, на коровые заложения эпицентральных зон землетрясения на глубинах от 5 до 30км [1-4] (табл. 1).

Таблица 1. Корреляция между пространственной плотностью числа очагов n (в областях радиусом 1ε, последовательно центрированных в эпицентрах событий данного региона) по [4]

Район событий	Число событий в интервалах глубин	
	0-22 км	22-40 км
Африканская рифтовая система	106	7
Алеутские острова	258	208
Атлантический океан	443	2
Центральная Америка	406	141
Евразия	554	155
Индийский океан	488	4
Курило-Камчатка	346	351
Северная Америка	216	5
Тихий океан	414	1
Филиппины	573	387
Южная Америка	183	125
Тонга-Новая Зеландия	1166	364
Ява	650	455

Статистическое соотношение проявления коровых землетрясений к глубинным (мантийного заложения ниже 50км) примерно 80 к 20%. Коровые землетрясения присущи, как тектонически активным регионам, горообразующим структурам, так и спокойным районам щитов. Объединяющим фактором проявления активных сейсмических процессов в недрах Земной коры являются повышенные температурные режимы от известных средних принятых значений для конкретной провинции. Если говорить точнее, физическое состояние минерального вещества в условиях умеренно высоких температур и соответствующих глубинных давлений, в так называемых зонах разуплотнения и низких сейсмических скоростей, предоопределяют активные формы изменения сплошности земной коры (в частности, в виде землетрясений, локальных сдвигов, образования разломов и т. д.) [1-7].

Глубинными сейсмическими исследованиями литосферы установлены аномалии упругого поведения минеральной среды на различных глубинах в виде зон низких скоростей (ЗНС). Зоны выявлены в континентальной и океанической коре, в районах различной тектонической активности на глубинах 3-25км. Эти зоны имеют

мощность от нескольких метров до 20 км с уменьшением скорости в них от десятков метров на секунду до 0,4-0,6 км/с. Абсолютные минимальные значения скорости в зоне обычно 6,1±0,4 км/с (в тектонически активных регионах V_{Pmin}≈5,6-6,3 км/с) [1, 5-10].

В данной работе мы впервые попытаемся найти связь упруго-плотностных аномалий земной коры с активизацией сейсмо-тектонических зон. Особенности строения глубинных горизонтов земной коры не доступных бурению, основываются на анализе материалов геофизических исследований, которые фактически отражают глубинное состояние пород. От качества интерпретации геофизических данных зависит, в частности, прогноз причин местоположения и характера локальных участков активных сейсмо-тектонических событий. Для качественной интерпретации успешным является предложенный нами метод петрофизического термобарического моделирования (ПТМ). Он базируется на сопоставлении экспериментальных данных об изменении физических параметров горных пород (в частности скорости упругих продольных волн (V_P) и плотности (ρ)) в *PT*-условиях, соответствующих термобарическим режимам земной коры исследуемых регионов, с материалами ГСЗ и гравиметрии с учетом поверхностной геологии [1, 5, 7-10].

Экспериментальные исследования и методические приемы. Одной из задач комплексной интерпретации геофизических данных с использованием связей «скорость-плотность» для различных геологических объектов является построение согласованной модели глубинных горизонтов Земли, в которой расчетные волновые и гравитационные поля совпадают с наблюденными. Чисто формальное количественное совпадение наблюденного и расчетного полей еще не может служить критерием единственности решения поставленной задачи. Это совпадение лишь значит, что найдено одно из множества эквивалентных решений. Поэтому любое полученное решение обязательно должно наилучшим образом соответствовать совокупности известных (из сейсмометрии, гравиметрии, изучения физических свойств, геотермии, петрологии, геологии и др.) данных.

Нашими многолетними исследованиями убедительно показано, что в условиях больших глубин существенную роль на зависимости $V_P=f(H)$ и $\rho=f(H)$ оказывает температура, влияние которой необходимо учитывать при уточнении связи $V_P=f(\rho)$ на различных глубинах [1, 5-14].

На основании данных опытов, выполненных по программам (низко и высокотемпературным режимам), расчетами установлено, что в случае реализации низкотемпературного режима опытов $\left(\frac{\partial \dot{O}}{\partial \dot{I}} < 9-11\frac{^{o}\tilde{N}}{\hat{e}\dot{i}}\right)$ зоны инверсии скоростей на зависимостях $V_P=f(PT)=f(H)$ не проявляются. Если температурный градиент $\frac{\partial \dot{O}}{\partial \dot{I}} > 15-20\frac{^{o}\tilde{N}}{\hat{e}\dot{i}}$ в интервале

давлений 1,8-3,5кбар на зависимостях $V_P=f(PT)$ зоны низких скоростей проявляются четко. Уменьшение скоростей в зонах для различных образцов пород варьируют от едениц до 500 м/с (рис. 1, а) [1, 2, 5-12]. Мощность слоев с пониженой скоростью от 2 до 20км (60 % в интервале 5-12км). Как правило, глубины минимальных значений V_P расположены в интервале суперпозиции давлений и температур, соответствующих 5-20км.

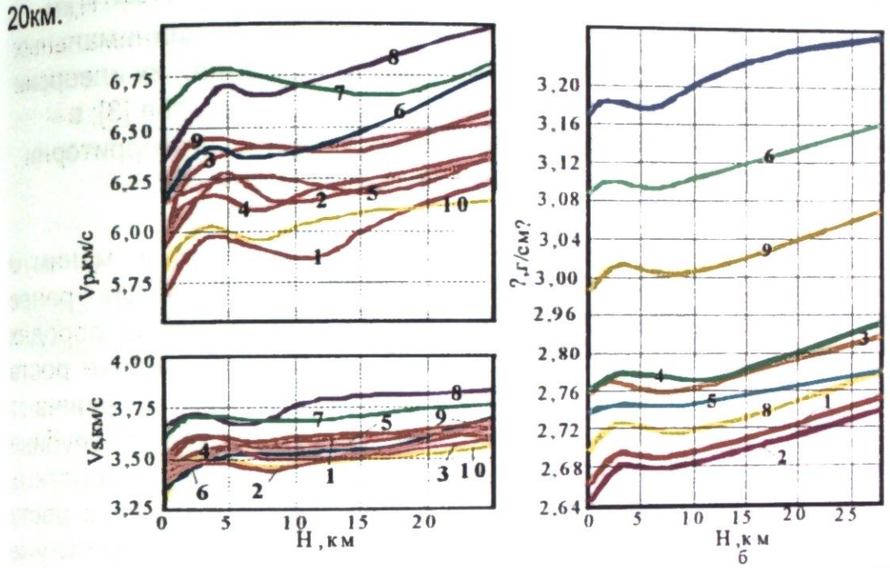


Рис. 1. а – Изменение с глубиной средних значений скоростей V_P и V_S ($V_{P,S}=f(PT)=f(H)$) для различных групп пород; б – Изменение с глубиной средних значений плотности $\rho=f(H)$. 1 – граниты равномернозернистые, 2 – граниты порфировидные, 3 – чарнокитоиды. 4 – анортозиты, 5 – лабрадориты, 6 – габбро, 7 – пироксениты, 8-10 – гнейсы.

С увеличением температурного режима с глубиной ЗНС увеличиваются в мощности и интенсивности. Конфигурация экспериментальных зон низких скоростей (глубина залегания, мощность, занижение скорости) подобны обнаруженным в ходе глубинного сейсмического зондирования земной коры (рис. 1, а; 2, а, б). Это дало нам право предполагать, что в земной коре на указанных глубинах зоны низких скоростей в большинстве случаев имеют термодинамическую природу [1, 2, 5-9].

Как следует из данных, приведенных на графиках, где каждая кривая является средним значением указанных параметров для нескольких образцов соответствующей группы, (рис. 1), при одновременном воздействии на минеральное вещество глубинных давлений и температур, изменяющихся по программам, для изученных пород характерны сложные нелинейным зависимости $V_{Pэкс}=f(PT)$ и $\rho=f(PT)=f(H)$. Температурный режим опытов соответствует глубиным условиям центральной части Украинского щита (УЩ) [1, 5-8].

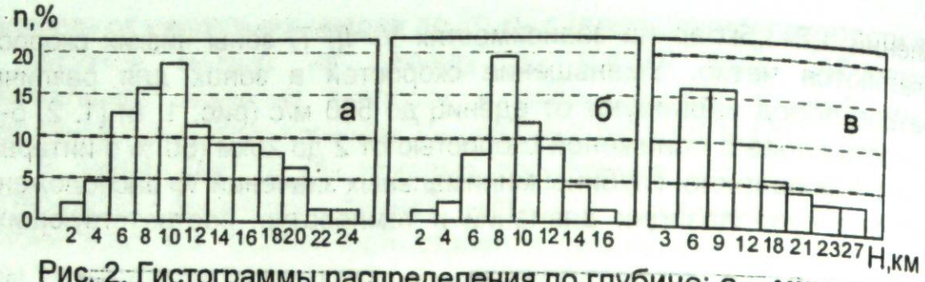


Рис. 2. Гистограммы распределения по глубине: а – минимальных значений экспериментальных скоростей $V_{Pэкс}=f(PT)$ в зонах их инверсии [1, 3]; б – центров ЗНС сейсмических скоростей для щитов [3]; в – глубины фокусов землетрясений, зарегистрированных на территории Закарпатья в интервале H=2-30км [2].

На графиках $\rho=f(H)$ также проявляются максимум и минимум значений, образуются зоны инверсии плотности, подобные ранее обнаруженным зонам низких скоростей упругих волн в горных породах [1, 2,5-8]. Достигнув максимальных значений, на первом участке роста плотности соответствующему интервалу глубин 0-5км, ρ начинают снижаться . Этот участок на кривых $\rho=f(H)=f(PT)$ не совпадает по глубине с начальным высокоградиентным участком $\partial / \partial P$ для скоростных зависимостей $V_{P,S}=f(PT)=f(H)$. Плотности более чувствительны к росту температуры с глубиной. На глубине 2-3км при T порядка 70-100°С уже наблюдается эффект разуплотнения. Снижение плотности продолжается примерно до глубины 6-11км, а затем она вновь возрастает, достигая ранее полученного максимума на глубинах 8-15км. Таким образом, в интервале глубин 2-16км на кривых изменения плотности $\rho=f(H)=f(PT)$ выделяются зоны инверсии ρ или зоны "низкой плотности".

Проведенные нами PT-исследования и обобщения некоторых пород Украинского щита из зон тнктонических разломов и районов активных деформаций показывают, что у сланцев и гнейсов, некоторых гранитов и милонитов по ним, катаклазированных плагиогранитов, мигматитов упруго-плотностные параметры существенно занижены (на 20-40%), а зоны инверсии проявляются на глубинах 2-14км. Падение плотности в зонах инверсии достигает 0,02г/см^3, а скорости 0,3-0,6км/с особено при более высоких температурах. У биотит-амфиболовых гнейсов и слацев основного состава зоны широкие, расположены на глубинах 6-20км с минимумами в интервале 10-13км. Перепад плотности в них составляет 0,01г/см^3. Зоны инверсии пироксен-амфиболовых и амфибол-пироксеновых пород располагаются в интервале глубин 3-16 иногда 6-17км с минимумами на глубинах соответственно 7-9 и 10-13км. Падение плотности в них до 0,02г/см^3.

В тектонически активных районах, как известно, геотермические режимы выше, чем на спокойных щитах. На рис. 3 представлены

графики изменения плотности в одном и том же образце, измеренные в низко- и высокотемпературных режимах опытов.

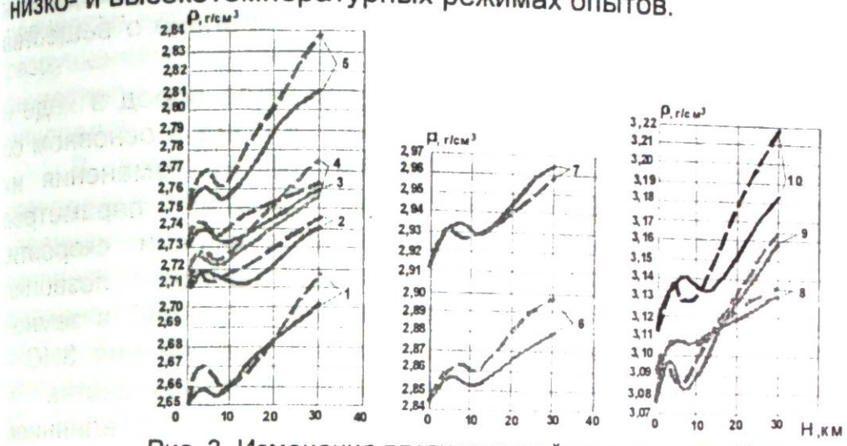


Рис. 3. Изменения плотности гнейсов и сланцев (биотитовые 1-4, амфиболовый - 5, пироксеновый - 6, амфибол-пироксеновый 7-10) при различных температурных режимах опытов. Штриховые линии – низкотемпературный режим опытов.

Как видно из рис. 3, при заданных различных режимах опытов графики изменения плотности одноименных пород близки по своему характеру, но отличаются по величине изменения. Такое отличие особенно четко проявляется у гнейсов биотитового состава, содержащих значительное количество кварца. У таких пород при высокотемпературных режимах опытов более резко увеличивается плотность в начальном интервале P и T и наблюдается более интенсивное ее уменьшение в зоне разуплотнения при дальнейшем увеличении термобарических воздействий с глубиной. Менее заметно такое отличие у сланцев и гнейсов амфиболового и пироксенового состава. В среднем на глубине 20-30км перегрев пород на 60-100°С от среднего, например, для щитов, уменьшает их плотность на 1,5-2,5% (на 1-1,2% в зоне разуплотнения). К большим изменениям склонны породы более крупнозернистые и анизотропные. Аналогичные изменения у $V_{P,S}$.

Природа зон разуплотнения пород и ЗНС в земной коре. В земной коре породы испытывают сжатие, разогрев, разного рода структурные, а иногда и вещественные превращения, определяемые действием давлений и температур. Нагрев горных пород сопровождается увеличением их объема. Коэффициент теплового расширения горных пород: $2\cdot10^{-6}$-$4\cdot10^{-4}$К$^{-1}$; среднее $3\cdot10^{-5}$К$^{-1}$. При их разогреве даже на 200-300°С наблюдаем увеличение объема минерального вещества на ~1% и соответственное уменьшение плотности. Действие высокого давление, как правило, приводит к сжатию вещества, величина которого определяется сжимаемостью или коэффициентом всестороннего сжатия. На глубине 5-10км в коре давление (P=1,5-3кбар) способно увеличить плотность пород не более чем на ~0,5% [1, 4-7]. Таким образом, на глубинах от 3 до 6км в земной

коре будут преобладать термодинамические силы объемного разрушения структурной целостности пород, что приводит к образованию на этих глубинах разуплотнения минерального вещества земной коры и как следствие ЗНС [5-14].

Как показали детальные исследования образцов пород в ходе и после эксперимента, инверсия плотности пород связана в основном со структурными изменениями ее и менее зависит от изменения их минерального состава. Ранее совместный анализ параметров сейсмических волноводов (ЗНС) и характера инверсии скорости, обнаруженных *PT*-петрофизическими исследованиями, позволил сделать предположение о термодинамической природе ЗНС в земной коре. Сделанные предположения о механизме возникновения ЗНС – следствие нарушения сплошности минерального вещества – подтверждаются данными изучения плотности пород под влиянием программного воздействия *P* и *T* [5-14]. Как и ожидалось, при *PT*, соответствующих глубинам ЗНС, плотности также уменьшаются, а иногда $\partial p/\partial H$ приобретают отрицательные значения, подтверждая тем самым интенсивное разуплотнение пород в *PT* условиях этих горизонтов, образуя области пониженной плотности. Это явление обусловлено естественным противодействием существующих *P* и *T* на минеральное вещество определенных глубин Земных недр.

Обобщая результаты комплексного структурного исследования различных пород при высоких давлении и температуре [1,5-7] оптическими, рентгеноструктурными, электроно-микроскопическими методами, анализируя материалы изучения упруго-плотностных характеристик пород, было сделано ряд предположений о природе вертикальной зональности упругих особенностей и плотности минерального вещества отдельных горизонтов земной коры. Прежде всего, в зоне инверсии плотности (H=3-15км, P=1,5-3кбар, T=150-250°C) увеличивается сжимаемость на фоне уменьшения упругих констант (E, G, K) и коэффициента объемного расширения пород в результате изменения межзерновых границ за счет, например, их милонитизации, увеличивается количество магистральных микротрещин. Совокупность обнаруженных микроструктурных преобразований породы свидетельствует об упругом низкотемпературном упрочнении и хрупком разрушении минерального вещества. Уменьшаются блоки мозаики отдельных зерен минералов. Увеличивается плотность дислокаций в блоках и уменьшается в межзерновых границах. Увеличивается относительная деформация зерен, их двойникование. Увеличиваются дефекты упаковки минералов. Увеличивается число центров генерации дислокаций [5-7]. В данном интервале *PT* это способствует разуплотнению минеральной среды. Основной механизм структурных изменений породы является совместное негативное действие развивающихся в среде неравномерно распределенных неоднородных

термодинамических напряжений по объёму образца, иногда достигающих в локальных контактах значений больше предела прочности отдельных минералов, приводящих к хрупким на микроуровне разрушениям среды. Такому разуплотнению способствуют анизотропные коэффициенты линейного расширения отдельных минералов.

В зоне низких плотности и скорости (H=2-15км) (области разуплотнения пород, разрыхления межзерновых границ) наблюдается увеличение пористости. По данным уменьшения скорости распространения упругих волн и изменения плотностей в этой зоне выполнен расчет, который показал, что пористость горных пород с глубиной уменьшается на 50-70% до глубины 3-5км (горизонтов максимальных величин упругих характеристик пород над ЗНС) [1, 6, 7, 12, 14]. В зоне инверсии плотности (4-15км) – зоны разуплотнения пород, разрыхления межзерновых границ отмечается увеличение пористости вплоть до исходного состояния пород. Плотность пород уменьшается на 10-20% от их значений на глубинах 3-5км. Далее, с глубиной наблюдается вторичное снижение пористости горных пород, повышается их плотность (рис. 4).

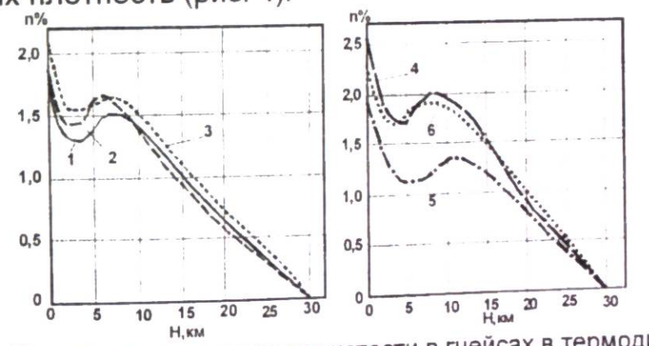


Рис. 4. Расчетные изменение пористости в гнейсах в термодинамических условиях соответствующих глубин. Гнейсы: 1 – биотитовые; 2 – гранат-биотитовые; 3 – пироксен-биотитовые; 4 – амфибол-биотитовые; 5 – амфиболовые; 6 – пироксен-амфиболовые, амфибол-пироксеновые.

В глубинных условиях недр Земли изменения плотности будут порождать развитие (затем релаксацию) очень высоких микронапряжений. Дополнительно здесь становится важным эффект действия флюидной фазы, которая обуславливает процессы новых разрушений и превращений.

В связи со струтурным разуплотнением пород в зоне пониженной плотности происходят более активные процессы массопереноса, газово-жидких флюидов. Исследования показали, что термодинамические условия глубин зон разуплотнения в коре (H=3-10км, *P*=1-3кбар, *T*=150-250°C) оказались наиболее приемлемыми для растрескивания газовожидких включений. При температуре 120-160°C в них развивается внутреннее давление порядка 1,5-2кбар, что дает возможность содержащимся во включении газам и флюиду покинуть его и

локализоваться в свободных областях породы (открытых порах, трещинах) [15, 16]. Вслед за активным раскрытием включений, снижением локальных термодинамических напряжений с повышением температуры и умеренных давлений активизируется диффузионный процесс перемещения флюидных веществ и самих включений. Диффузия возможна поверхностная, вдоль границы раздела флюид-минерал или через минерал-хозяин. Массоперенос и диффузионные процессы в полях статических напряжений в кристаллах, вероятно, могут приводить к значительному перемещению включений [14-16]. Скорее всего, перекристаллизация минерала-хозяина идет буквально по пятам за включениями, стремясь уменьшить существующие напряжения, однако, оставляя вторичные мелкие включения. Одним из важных моментов в случае напряженного состояния минерала, с увеличением литостатического давления, является стремление мелких включений к объединению, слиянию за счет миграции мелких включений к большим, которые будут находиться уже в новых метастабильных условиях, соответствующих глубин. Есть предположения, что сблизившиеся включения могут срастаться даже под влиянием напряжений, вызванных высоким гидростатическим давлением, если оно больше давления во включении [14-16]. Таким образом, в результате процесса расшнурования, массопереноса и диффузии с увеличением действующих на породу давлений и температур выше определенного порога начинается локализация содержимого раскрытых включений. Исследуя оптическими методами (шлиф, аншлиф) отдельные минералы и межзерновые границы в основном подтвержден описанный выше механизм преобразования породы в результате декрепитации при высоких давлениях и температурах. Так, в образцах пород, испытавших воздействие *PT*, соответствующих зонам ЗНС и разуплотнения, наблюдается увеличение газово-жидких включений (особенно по краям зерен), появляются локализации в виде стоков мелких новообразованных включений в местах ранее существовавших микротрещин. Наблюдались следы сред газово-жидких включений на стенках минералов и в межзерновых пространствах образцов пород подверженных лабораторным воздействием термобарических условий зон инверсии плотности [14-16]. Столь подробное обсуждение процесса декрепитации в отдельных образцах пород при *PT*, соответствующих зонам ЗНС и разуплотнения, необходимо для подверждения возможных акивной миграци флюидов в породах в сложных условиях больших глубин.

Выводы

Наличие зон разуплотнения в земной коре, которые регистрируются сейсмическими методам (ГСЗ), является ее неотъемлемой частью, стабилизирующей устойчивость литосферы. В силу ослабленных здесь упругих характеристик пород – это область

релаксации интенсивных полей напряжений тектонически активных процессов. Здесь, на определенных глубинах коры активно включаются механизмы дилатансионного разрушения минеральной среды [13, 17]. Термобарические зоны низких сейсмических скоростей (область пониженных упругих параметров пород, их плотности и повышенной пористости) являются спусковым механизмом интенсивных релаксационых процесов в земной коре тектонически активных регионов в виде образования здесь очагов землятресений и разломов различной направленности, а также границ, регистрируемых сеймическими методами. Зоны низких скоростей наиболее активные горизонты современного преобразования минеральной среды, изменения структурных особенностей земной коры, даже в тектонически спокойных регионах (например, кристаллических щитах). Это области наиболее выраженной самоорганизации корового материала нашей планеты. Она претерпевает постоянные динамические изменения. Подтверждением этому служит наличие на глубинах ЗНС наибольшего количества очагов коровых землетрясений (рис. 2, в). Зона низких скоростей является геоактивной областью коры за счет миграции глубинных флюидов и других форм массопереноса газообразных и жидких сред, дифференциации глубинных растворов, формируя локализации полезных ископаемых. Миграции способствует сейсмичность этих регионов систематическими сотрясениями, более интенсивно рзуплотняя коровые мататериалы, что стимулирует движение флюидов, активизируя процессы их дефференциаци и локализаци минеральных сред в зонах разуплотнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Korchin V. Anomalies of low density in the crystalline crust of thermobaric origin: a new insight into migration and localization of hydrocarbons. Monograph 72: Oil and Gas Exploration: Methods and Application. American Geophysical Union, Wiley, 2017, pp. 237-257.
2. Назаревич А.В., Назаревич Л.Є., Ковалишин З.І. Природа підзони знижених швидкостей у «гранітах» кори Закарпаття та її перспективні ресурси // Вісник Львів. ун-ту. Сер. геол. 2002. Вип. 15. С. 119-125.
3. Корчин В.А. Коровые зоны низких скоростей – области современной релаксации сейсмотектонических процессов. Материалы первого международного симпозиума. «Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений: измерение деформаций, остаточных и действующих напряжений в горных породах» Киргизия, Бишкек, 21-23 сентября 2016. Бишкек: НАН КР, 2016. С. 121-130.
4. Родкин М.В. Роль глубинного флюидного режима в геодинамике и сейсмотектонике. М., 1993. 196 с.
5. Корчин В.А. Термодинамика коровых зон низких сейсмических скоростей (новая научная гипотеза). LAP Lambert Academic Publishing,

2013, 280 с.
6. Корчин В.А. Зоны низких скоростей термобарической природы в кристаллической коре. Геофизический журнал. 2015, 37, № 5, с. 46-65.
7. Корчин В.А., Буртный П.А., Коболев В.П. Термобарическое петрофизическое моделирование в геофизике. Киев: Наукова думка, 2013. 312 с.
8. Korchin V. Low velocity zones in the Earth's crust. Геофизический журнал, 2010, 32, № 4, с. 70.
9. Korchin V.A. Thermobaric Seismic Stratification of the Lithosphere. 12 International Symposium on Deep Structure of the Continents and their Margins. September 24-29, 2006. Shonan Village Centre, Hayama, Japan, 2006, NHA-P02, CD-ROM.
10. Корчин В. А. Петрофизические особенности зон низких сейсмических скоростей в земной коре и их термобарическая неустойчивость. Материалы XVII Всероссийской конференции с международным участием: «Проблемы сейсмотектоники». Москва, 20-22 сентября, 2011, с. 273-277.
11. Буртный П.А., Корчин В.А., Карнаухова Е.Е. Моделирование вещественного состава глубинных горизонтов земной коры (новая концепция интерпретации геофизических данных). LAP Lambert Akademic Publishing, 2013. 188 с.
12. Корчин В.А. Термобарическое моделирование аномалий повышенной пористости в горных породах земной коры – горизонтов возможной миграции и локализации глубинных углеводородов. Электронный журнал "Глубинная нефть". 2014, 2, № 9, с. 1434-1448.
13. Корчин В. А. Упруго-плотностное термобарическое расслоение литосферы, коровые зоны низких сейсмических скоростей. Материалы III тектонофизической конференции в ИФЗ РАН «Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле». Москва, 8-12 октября 2012, т. 2, с. 390-393.
14. Корчин В.А. Структурные особенности минеральной среды в *PT*-условиях различных глубин земной коры. Геофизический журнал, 2007, 29, № 3, с. 49-77.
15. Рейдер Э. Флюидные включения в минералах. В двух томах. Москва: Мир, 1987. 632 с.
16. Гегузин Я. Е., Кривоглаз М. А. Движение макроскопических включений в твердых телах. Москва: Металлургия, 1971, 344 с.
17. Николаевский В.Н. Геомеханика и флюидодинамика. Москва: Недра, 1996. 447 с.

УДК.622.273

ОЦЕНКА УДАРООПАСНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЖЕРУЙ

Р.Н. Ялымов[1], А.К. Бейшеев[2]
[1] Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек
[2] Институт горного дела и горных технологий им. акад. У. Асаналиева

В статье рассмотрены вопросы оценки удароопасности горных пород месторождений различными методами. Произведена оценка удароопасности руды и вмещающих пород меторождения Джеруй. Произведены расчеты для определения возможных проявлений горного давления в динамической форме на месторождении Джеруй.

Ключевые слова: месторождение Джеруй, прочность горных пород на одноосное сжатие, модуль упругости и хрупкость горных пород, критическая глубина.

ESTIMATION OF BURST DANGER OF THE JERUY DEPOSIT ROCKS

Yalymov R.N.[1], Beysheev A.K.[2]
[1] Institute of geomechanics and development of bowels of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek;
[2] Acad. U. Asanaliev Institute of Mining and Mining Technologies, Bishkek

Problems of estimation of burst danger of rocks by various methods are considered in the article. The estimation of burst danger of ore and host rocks of Jeruy deposit is made. Calculations for determination the possible appearances of rock pressure in a dynamic form at the Jeruy deposit are realized.

Key words: Jeruy deposit, rock strength on uniaxial compression, modulus of elasticity and rock fragility, critical depth.

ЖЕРҮЙ КЕНИНДЕГИ ТОО-ТЕКТЕРИНИН ТОО-ТЕК СОККУСУ БОЮНЧА КООПТУУЛУГУН БААЛОО

Р.Н. Ялымов[1], А.К. Бейшеев[2]

[1]Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Геомеханика жана жер казынасын өздөштүрүү институту, Бишкек ш.;
[2]Академик У.Асаналиев атындагы Тоо-кен иши жана тоо-кен технологиялары институту, Бишкек ш.

Пайдалуу кендердин тоо-тектеринин тоо-тек соккусу боюнча кооптуулугун ар кандай ыкмалар менен баалоо маселелери каралды. Жерүй кенинин рудасынын жана айланасындагы тоо-тектеринин тоо-тек соккусу боюнча кооптуулугун баалоо аткарылды. Жерүй кениндеги тоо-тек басымынын динамикалык түрдө жүрүп кетишин аныктоо үчүн эсептөөлөр жүргүзүлдү.

Өзөктүк сөздөр: Жерүй кени, тоо-тектеринин бир жактуу кысылуудагы бышыктыгы, серпилгичтик модулу, тоо-тектеринин морттугу, кооптуу терендик.

Прогнозирование горных ударов – это необходимая составная часть управления технологическим процессом при разработке месторождений полезных ископаемых. Научный прогноз горных ударов отражает объективно существующую реальность, базируется на выявлении закономерностей ее развития. Установление удароопасности месторождений, отдельных ее участков или рудных тел позволяет своевременно предусматривать меры борьбы с горными ударами на стадии проектирования и строительства шахт и рудников, чем обеспечивается не только повышение безопасности ведения горных работ, но и их экономическая эффективность.

К угрожаемым по горным ударам относятся месторождения или массивы горных пород или их части, в пределах которых имеются породы и руды с высокими упругими свойствами, способные к хрупкому разрушению под нагрузкой, а также месторождения или их части, где происходило стреляние пород, интенсивное заколообразование, толчки или горные удары.

К опасным по горным ударам относится часть месторождения, начиная с глубины, на которой появились микроудары и горные удары.

Для отнесения месторождения к угрожаемому по горным ударам при отсутствии визуальных признаков удароопасности необходимо оценить способность горных пород к хрупкому разрушению и изучить физико-механические свойства руд и вмещающих пород.

Средние значения физико-механических свойств руд и основных вмещающих пород месторождения Джеруй по данным Госагенства по

геологии и Института физики и механики горных пород НАН КР приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Физико-механические свойства руд и основных вмещающих пород месторождения Джеруй

Породы	Средние значения пределов прочности, МПа		Модуль упругости, $E \cdot 10^4$ МПа	Коэффициент Пуассона
	$\sigma_{сж}$	$\sigma_р$		
Кварцевый диорит	164,0	8,2	7,2	0,25
Массивный кварц	117,0	5,8	6,0	0,3
Фельзит	192,0	10,0	6,7	0,27
Штокверк	153,5	5,9	6,9	0,25
Гнейсы	135,0	6,4	6,1	0,27
Кварц-биотитовый сланец	90,0	4,5	6,2	0,3

Из таблицы видно, что породы плотные, крепкие и упругие. Предел прочности на одноосное сжатие изменяется от 90,0 МПа у кварц-биотитовых сланцев до 164,0 МПа у кварцевых диоритов. Прочность на растяжение также наименьшая у кварц-биотитовых сланцев – 4,5 МПа и наибольшая у фельзитов – 10,0 МПа.

Все породы месторождения упругие, модуль упругости высокий и изменяется незначительно $E=6,2 \cdot 10^4$ МПа у сланцев и $E=7,2 \cdot 10^4$ МПа у диоритов. Коэффициент Пуассона – 0,2- 0,3.

Известно, что динамические явления возможны, когда, во-первых - породы обладают достаточной упругостью, обеспечивающей возможность накопления в ней значительного количества потенциальной энергии и склонны к хрупкому разрушению; во-вторых – массив или его участок должны находиться в предельном или близком к нему напряженном состоянии. Эти условия являются необходимыми, так как они возникают в удароопасном массиве на определенной глубине, где породы находятся под действием высоких напряжений.

Обобщая исследования по определению свойств пород и поведения их под нагрузкой, выполненных Агентством Геологии КР и Институтом физики и механики горных пород НАН КР, мы провели оценку склонности различных горных пород Джеруйского месторождения к динамическому разрушению. Исследованиями ИФиМГП НАН КР показано [10], что почти весь комплекс крепких скальных пород рудных месторождений Центральной Азии является склонным к горным ударам. Практическим подтверждением служит отмеченные динамические явления на многих рудниках этого региона: Кадамжай, Чон-Кой, Сары-Джаз, Кансай, Текели, Учкошкон и др.

В соответствии с "Инструкцией по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях (объектах строительства подземных сооружений), склонных к горным ударам" [3, 4], на всех разведываемых и разрабатываемых месторождениях, проектируемых и строящихся рудниках, шахтах, туннелях и других подземных сооружениях, должны быть выполнены работы по своевременному выявлению склонности горных пород к горным ударам. При этом особенности свойств краевой части массива (прочностных и деформационных) зависят от типа породы, характера их трещиноватости, прочности, состава и механических свойств отдельных слоев и пачек, вскрытых выработками, происшедших тектонических процессов и др. Причем, при прогнозировании горных ударов на том или ином месторождении должны в первую очередь оцениваться склонность руд и вмещающих пород к накоплению потенциальной энергии упругого сжатия и их способность к хрупкому разрушению в динамической форме и сформулированы три необходимых условия для появления динамических форм разрушения.

Первое условие, когда сжимающие напряжения составляют 0,5 - 0,7 от прочности на сжатие:

$$\sigma \geq 0{,}5 - 0{,}7[\sigma_{сж}]$$

Вместе с тем исследования на удароопасных месторождениях показывают, что уровень напряжений в массиве и условия нагружения являются обязательными, но недостаточными условиями для разрушения пород в динамической форме.

Второе условие. Разрушение в динамической форме, кроме того, зависят от деформационных свойств горных пород. Упругие деформации должны составлять не менее 70% от общих, т.е.

$$К_{упр} = \varepsilon_{упр}/\varepsilon_{пол} \geq 0{,}7$$

Третьим условием, определяющим возможность реализации горных ударов, является величина хрупкости пород. Коэффициент хрупкости по разным данным техники безопасности не менее 10-15

$$К_{хр} = [\sigma_{сж}]/[\sigma_р] \geq 10 - 15$$

В соответствии с данными критериями нами были определены удароопасные породы, слагающие массив Джеруйского месторождения.

Определение хрупких свойств пород производится по отношению прочности пород на одноосное сжатие к прочности на разрыв:

$$К_1 = [\sigma_{сж}]/[\sigma_р]$$

При $K_1 \geq 15$ порода считается удароопасной. Характерным является то, что прочность пород на одноосное сжатие в основном находится в диапазоне 100,0-150,0 МПа. Из шести разновидностей пород только одна представлена прочностью менее 100 МПа. Особенностью свойств этих пород заключается в низких прочностных свойствах на разрыв.

Если проанализировать отношение $К_1 = [\sigma_{сж}]/[\sigma_р]$, то видно, что эти результаты, как правило, более 15 (таблица 2)

Таблица 2.

Показатели хрупкости $K_{хр}$ пород месторождения

Породы	диориты	кварц	фельзит	штокверк	гнейсы	сланцы
$K_{хр}$	20	20	19,2	25	21	20

Основной интервал составляет K_1=20-25. Данные количественные показатели характеризуют большинство пород как потенциально удароопасными.

Универсальным показателем склонности горной породы к хрупкому разрушению является численная величина коэффициента удароопасности [11]: $К_2 = (\varepsilon_у/\varepsilon_п) \cdot 100$

Данный коэффициент определяется отношением упругой деформации ε_y к полной деформации $\varepsilon_п$, которые возникают при одноосном сжатии образцов породы в натурных или лабораторных условиях. При этом учитываются деформации, происходящие при нагрузках не менее 70% от разрушающих. Данный коэффициент отражает количественно величину упругой энергии, запасенной в породе перед разрушением, и ее способность выделять энергию в процессе разрушения. Для всех удароопасных пород, как показали исследования многих авторов, K_2>70%. По этому показателю к явно удароопасным относятся диориты, кварцы, штокверк, гнейсы, фельзиты.

Таким образом, анализ экспериментальных данных показывает, что основные рудосодержащие и вмещающие породы месторождения Джеруй крепкие и хрупкие. Под нагрузкой до 70-80% от разрушающей зависимости изменения напряжений от деформаций происходят по линейному закону. То есть, отношение упругой деформации ε_y к полной деформации $\varepsilon_п$ составляет больше 70%

$К_2 = (\varepsilon_у/\varepsilon_п) \cdot 100 > 70\%$, и, по этому показателю породы месторождения относятся к удароопасным.

Показателем удароопасности месторождения является также отличия модулей упругости участков рудного тела и контактирующих вмещающих пород как по висячему, так и по лежачему бокам. Известно, что значительные отличия модулей упругости контактирующих пород могут вызвать концентрацию напряжений в слое с более упругими свойствами. На основе натурных наблюдений и экспериментальных данных предложены следующие эмпирические зависимости. Прогнозируемый слой считается удароопасным, если удовлетворяется условие $К_3 = (Е_р/Е_в) \geq 5$

На Джеруйском месторождении эти соотношения для рудных залежей колеблются от $6 \cdot 10^4$ МПа до $6{,}9 \cdot 10^4$ МПа, а модуль упругости вмещающих пород составляет от $6{,}1 \cdot 10^4$ МПа до $7{,}2 \cdot 10^4$ МПа.

Тогда $К_З = (Е_р/Е_в) = (6 \div 6{,}9)/(6{,}1 \div 7{,}2) \approx 1 < 5$

Следовательно, сочетание модулей упругости слоев пород и руд месторождения не вызывает изменения концентраций напряжений и по этому показателю их можно считать неудароопасными.

Таким образом, в результате комплексной оценки склонности горных пород Джеруйского месторождения к динамическому разрушению, установлено, что по большинству показателей диориты, кварц, фельзиты, штокверк и гнейсы способны к накоплению потенциальной энергии, имеют высокую прочность, деформируются упруго и при достижении критических напряжений склонны к хрупкому разрушению. Для этих пород характерна практически прямолинейная зависимость между напряжениями и деформациями при нагрузках 70% и более от разрушающих. Выявлено, что большинство пород месторождения склонны к хрупкому разрушению в динамической форме, но для формирования удароопасной ситуации необходимо также наличие высоких напряжений в массиве.

Проводя оценку склонности пород к горным ударам, целесообразно определять также глубины, на которых данные породы могут испытывать напряжения, приближающиеся к разрушающим, исходя из прочности этих пород и учитывая возможные концентрации напряжений вокруг выработок и в краевых частях массива. Для такой оценки следует использовать все имеющиеся данные о напряженности массива пород, о возможном действии в массиве тектонических сил, их значении и направлении.

На основе экспериментальных исследований на рудниках Центральной Азии академиком И.Т. Айтматовым установлено [1, 2], что в качестве эмпирического критерия начала развития обрушений в динамической форме при разработке крутопадающих и наклонных рудных залежей региона системами с открытым очистным пространством можно использовать соотношение $\sigma_{ср}/[\sigma_{сж}^{ср}]$, при определенных значениях которого наблюдается разрушение массива. Здесь $\sigma_{ср}$ – среднее значение естественного главного напряжения, ориентированного горизонтально в субмеридиональном направлении на данной глубине, МПа; $[\sigma_{сж}^{ср}]$- среднее значение прочности образцов горной породы на одноосное сжатие, МПа. Установлено, что динамические формы проявлений горного давления на рудниках возможны при достижении коэффициента $К = \sigma_{ср}/[\sigma_{сж}^{ср}]$ значений, равных 0,22 - 0,30.

При определении критической глубины, на которой возможны горные удары, Институтом физики и механики горных пород НАН КР обобщены результаты исследований на рудниках Центральной Азии и получена простая эмпирическая зависимость глубины возможного

возникновения динамических проявлений горного давления в потенциально удароопасных породах [10]:

$$H_{кр} = 300 + 2{,}5[\sigma_{сж}], м$$

где $[\sigma_{сж}]$ – средняя прочность породы на одноосное сжатие, МПа

При средней прочности пород на месторождении Джеруй, равной 110-130 МПа $H_{кр} = 300 + 2{,}5[120] = 600$ м

На участках с более прочными породами критическая глубина составит при $[\sigma_{сж}]$ = 140 МПа, $H_{кр}$ = 650 м.

В зависимости от прочностных свойств пород критические глубины возможных проявлений горных ударов изменяются от 600 до 650 м и первые динамические формы горного давления возможны уже на глубине 600 м [5, 6, 7, 8].

Прогнозные значения критических глубин, начиная с которых в очистных выработках могут развиться динамические формы горного давления в условиях Джеруйского месторождения [11], определялись также по методике ВНИМИ. Этот способ определения удароопасности горных пород в массиве рекомендуется применять на стадии выполнения геологоразведочных работ. По методике этого способа, отличающийся тем, что с целью информативности способа за счет определения критической глубины горных работ, определяют предел прочности пород на одноосное сжатие, коэффициент структурного ослабления пород в массиве, объемный вес пород, коэффициент концентрации напряжений в зонах повышенного горного давления и вид напряженного состояния массива, а критическую глубину $H_{кр}$, на которой наступает удароопасное состояние, определяют по формуле:

$$H_{кр} = \frac{K[\sigma_{сж}]K_c}{\gamma K_\sigma},$$

где K – коэффициент, зависящий от вида напряженного состояния массива, K = 80 для гидростатистического напряженного состояния и K = 65 для не равнокомпонентного;

$[\sigma_{сж}]$ – предел прочности породы на одноосное сжатие. МПа;

K_c – коэффициент структурного ослабления пород в массиве;

γ - плотность породы, г/см^3; K_σ - коэффициент концентрации напряжений в зонах повышенного горного давления.

Для условий исследуемых участков Джеруйского месторождения коэффициент K_σ - зависящий от вида напряженного состояния, равен 65; $[\sigma_{сж}]$ - среднее значение равно 120МПа; коэффициент K_c структурного ослабления пород изменяется от 0,6 до 0,9, в среднем 0,7; плотность пород γ =2,7 г/см^3; коэффициент концентрации напряжений K_σ от очистных работ в зоне опорного давления принимаем равным 3,0 [9]. Следовательно, критическая глубина горных работ, на которой возможно проявление горных ударов, будет равна:

$$H_{кр} = \frac{65 \cdot 120 \cdot 0.7}{2.7 \cdot 3} = 660 \text{ м}$$

Согласно расчетам по этой методике, динамические проявления горного давления на Джеруйском месторождении могут начаться на глубинах 600-660 м. Эти результаты хорошо согласуются с результатами экспериментальных работ и расчетами по методикам других исследователей.

Таким образом, анализ результатов исследований показал, что с глубин 600-660 м на Джеруйском месторождении возможны горные удары. Первые горные удары возможны на глубине 600 м в районах активных тектонических нарушений и в некоторых несущих конструкциях систем разработки при уменьшении их размеров по сравнению с проектными с большой концентрацией напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айтматов И.Т. Геомеханика рудных месторождений Средней Азии. Фрунзе.:Илим, 1987. – 245 с.
2. Айтматов И.Т., Кожогулов К.Ч. Современное состояние проблемы горных ударов в горнорудной промышленности Кыргызстана. М.: Горный журнал, 2002, №10.
3. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и месторождений полезных ископаемых подземным способом. Бишкек.:Шам, 2000. – 59 с.
4. Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях (объектах строительства подземных сооружений), склонных к горным ударам. Л.:ВНИМИ, 1989. – 59 с.
5. Отчет по детальной разведке глубоких горизонтов золоторудного месторождения Джеруй. Том I. Джеруй, Талас-Фрунзе, 1984.
6. Отчет по предварительному технико-экономическому обоснованию разработки месторождения золота Джеруй. Talas Gold Mining Compani, 2000.
7. Отчет по определению физико-механических свойств горных пород месторождения Джеруй по кернам геотехнических скважин. ИФиМГП НАН КР, Бишкек, 2002.
8. Отчет по геотехнической оценке подземной добычи Джеруйского рудного тела в Кыргызстане. Golder Associates, 1994.
9. Проект Джеруй. Технико-экономическое обоснование рудника МК Голд Компании, 1994. Приложение 4, Том 2, Том 3.
10. Ялымов Н.Г. Оценка удароопасности горных пород Хайдарканского месторождения. В книге Геомеханическое обоснование методов расчета устойчивости обнажений. Бишкек: Илим, 1992.
11. Ялымов Р.Н. Определение критической глубины возникновения динамических проявлений горного давления на Хайдарканском месторождении. Бишкек: Нац. Информ. Центр КР, 1996, 4 с.

УДК 622.833.5

ОБОСНОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

М.С.Акматалиева, Д.К. Тажибаев
Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики

В статье предложен разработанный ультразвуковой метод определения остаточных напряжений в горных породах. Приведены результаты исследования остаточных напряжений предложенным новым методом.

Ключевые слова: горная порода, остаточное напряжение, ультразвук, поляризованная волна, метод

SUBSTANTIATION OF ULTRASONIC METHOD FOR DEFINITION OF RESIDUAL STRESSES IN ROCKS

Akmatalieva M. S., Tazhibaev D. K.
Institute of geomechanics and development of bowels of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic

The developed ultrasonic method for determining residual stresses in rocks is proposed in the article. The results of the research of residual stresses by the proposed new method are given.

Key words: rock, residual stress, ultrasound, polarized wave, method

ТОО-ТЕКТЕРИНДЕГИ КАЛДЫКТУУ ЧЫҢАЛУУЛАРДЫ УЛЬТРАҮН МЕНЕН АНЫКТОО ЫКМАСЫН НЕГИЗДӨӨ

М.С.Акматалиева, Д.К. Тажибаев
Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Геомеханика жана жер казынасын өздөштүрүү институту

Макалада тоо-тектеринде калдыктуу чыңалууну аныктоодо жаңыдан иштелип чыккан ультраүндүү ыкма сунушталды. Жаңы ыкма (метод) менен изилдөөлөрдүн жыйынтыктары берилди.

Өзөктүк сөздөр: тоо-тектери, калдыктуу чыңалуулар, ультраүн, багытталган толкундар, ыкма

Тоолуу аймактарда минералдуу-сырьёлук ресурстарды өздөштүрүүдө эң башкы маселе болуп, тоо тектеринин чыңалып турган абалын жана тоо-тектеринин касиеттерин (мүнөздүү өзгөчөлүктөрүн) аныктоо эсептелет. Тоолуу жер силкинүү коркунучу бар аймактарда, тоо тегинин массивинин чыңалган абалына калдыктуу чыңалуулар олуттуу таасир көрсөтөт. Бул аймактарда, азыркы учурда калдык чыңалуулардын пайда болушунун жана бөлүштүрүлүшүнүн закон ченемдүүлүктөрү толук изилдене элек, ошондуктан калдыктуу чыңалуулардын тоо-тектеринин талкаланышына жана деформацияланышына тийгизген таасири абдан опурталдуу.

Жер силкинүү активдүүлүгү бар аймактарда кен массивинин чыңалган абалы көп учурларда магма жана гидротермалдуу түзүлмөлөрүнүн өзгөчөлүгүнөн келип чыккан тоо-тектериндеги калдык чыңалуулардын бирдей эместиги менен аныкталары көрсөтүлгөн [1]. Тоолуу аймактарда көпчүлүк учурларда массивде болгон аракеттеги чыңалуулардын горизонталь багыттагы түзүүчүсү, тикесинен кеткен түзүүчүдөн байкалаарлык ашып түшөрүн, массивде чыңалууларды прибордун жардамы менен изилдөөлөр көрсөттү. Горизонталь багыттагы чыңалуунун түзүүчүлөрү тикесинен кеткен чыңалуунун түзүүчүлөрүнөн чоң болушу жана кен массивиндеги чыңалуунун бирдей эместиги, силкинүү коркунучу бар аймактардагы тоо-тектериндеги калдыктуу чыңалуунун өзүнүн жаратылышынын бирдей эместиги менен байланышкандыгын аракеттеги жана калдыктуу чыңалууларды бирдикте тажрыйбалык жол менен изилдөөлөрдүн негизинде К.Т.Тажибаев тарабынан көрсөтүлгөн [1].

Аракеттеги чыңалууларды жана ошондой эле калдык чыңалууларды аныктоочу белгилүү болгон жана кеңири таралган ыкмалардын (методдордун) жардамы менен аныктоону анализдеп көрүп, ал ыкмалардын кээ биринин кемчиликтерине токтолсок, мисалы, белгилүү болгон ультраүн ыкмасы (методу) туралуу айта турган болсок, заттын экинчи жана үчүнчү дэңгээлдеги серпилгичтик мүнөздөмөлөрү ошондой эле калдык чыңалуунун таасирисиз жана анын таасиринин астында толкундун таралуу ылдамдыгы белгилүү болсо гана, андагы чыңалууну аныктаганга мүмкүндүк берет [2].

Бул ультраүн методунун негизги кемчилиги болуп, анын көп эмгекти талап кылгандыгы жана аныкталып жаткан чыңалуунун тактыгынын аздыгы эсептелет. Сырткы күчтөрдүн таасиринде турган үлгүлөрдө калдык чыңалуу, материалдын серпилгичтик касиеттеринин мааниларин так эмес аныкталышына алып келет жана башка методдордун жардамы менен калдык чыңалуунун чоңдугун жана багытын аныктоого туура келет. Экинчи жагынан алып караганда ультраүн ыкмасы (методу) тоо-тектеринин чыңалуусун изилдөөдө үлгүлөрдү талкалабай, көбүрөөк маалымат бериши анын ыкчамдыгы

жана изилдөө ыкмасынын (методунун) тактыгы боюнча натыйжалуу деп эсептилинет. Ошондуктан биз бул ыкманын (методдун) татыктуу жактарын колдонуп, кемчиликтерине түзөтүүлөрдү киргизип иштеп чыктык. Багытталып туурасынан тараган ультраүн толкундарынын берилген аралыктан өтүү ылдамдыгы боюнча калдыктуу чыңалууну аныктоого боло тургандыгы далилденип жана жаңы ыкма үчүн патент алынды [3]. Сунушталган ыкма өз ара тик багыттар боюнча өткөн багытталган туурасынан тараган ультраүн толкунунун ылдамдыгынын чыңалууга жараша өзгөрүшүн өлчөөгө негизделген.

Тоо-тектериндеги калдыктуу чыңалууну аныктоодо ультраүндүү ыкманы (методду) негиздөөдө көптөгөн изилдөөлөр жүргүзүлдү. Алгачкы изилдөөлөрдө толкундун өтүү убакыттары боюнча калдык чыңалууну сапат жагынан эле баалап келгенбиз. Азыркы кезде К.Тажибаев аныктаган формуланын негизинде калдык чыңалуунун сандык маанисин эсептеп чыгарганга мүмкүнчүлүк түзүлдү [4]. Алгачкы изилдөөлөрүбүз негиздүү жана көрсөтмөлүү болуш үчүн тунук моделдерди башкача айтканда эпоксид желиминен жасалган үлгүлөрдөгү калдыктуу чыңалууну изилдөөдөн баштаганбыз. Калдыктуу чыңалууларды аныктоодо эң көрсөтмөлүү жана жетишээрлик так ыкма болуп оптикалык-поляризациялык ыкма эсептелгендиктен, бул ыкма менен жүргүзүлгөн изилдөөлөрдүн жыйынтыктарын, биздин маалыматтар менен салыштырып, бир эле үлгүнү эки ыкма менен изилдеп көрүп, алынган жыйынтыктар бири-бирине жакын экендигин аныкталды.

Катуу материалдарда калдыктуу чыңалуулар бар же жоктугун жана белгисин аныктап алуу үчүн калдык чыңалуунун ультраүн параметри (мүнөздөөчү чондук) негизделди. Туурасынан таралган (багытталган) ультраүн толкундарынын берилген аралыктан жарыш жана тик багыттардагы абалда өтүү ылдамдыктардын айырмасы боюнча б.а. убакыттардын айырмасы $T_{\Delta S} = T_{SP} - T_{SC}$ (1), боюнча калдыктуу чыңалуулардын чоңдугун жана белгисин аныктап алууга боло тургандыгы, тунук үлгүлөрдү изилдөөдө, аныкталды. Биринчи формуладагы айырма калдык чыңалуунун чоңдугуна жана белгисине жараша өзгөрө тургандыгы тажрыйба аркылуу тастыкталды. Ар кандай үлгүлөрдө калдык чыңалууларды изилдөөдөн алынган, тажрыйбалардын жыйынтыктарынын негизинде тегиздиктеги чыңалган абал үчүн (К. Тажибаев) чыңалуу формуласы төмөнкүдөй жазылат [4]:

$$\sigma = \frac{(T_{SP} - T_{SC})}{T_{SC}} K \qquad (2),$$

K - чыңалуунун толкундук модулу;
σ - туурасынан таралган толкундун поляризация вектору боюнча багытталган нормалдуу калдык чыңалуу.

Формула (2) калдык чыңалуу жана өз ара тик багытта болгон багытталган туурасынан таралган ультраүн толкундарынын берилген аралыктан өтүү убактыларынын айырмасынын ортосундагы функционалдык көз карандылыкты байланыштырган формула болуп эсептелет. Көлөмдүү катуу заттарда эки багыт жана өз ара тик багыттагы үч багыт боюнча үч октуу чыңалуу абалы пайда болот. Ушундай эки октуу жана үч октуу чыңалуу абалы учурунда, калдыктуу чыңалууну аныктоо үчүн биринчи кезекте, затта ультраүн толкунун өтүү убактыларынын айырмасын салыштырма чоңдугун аныктоо зарыл, б.а. калдык чыңалуу болбогон (сырткы күч жок) учурда T_{SO} чоңдугун аныктоо керек. Андан кийин бул убакытты, затка сырткы күчтөр аракет кылган учурда, берилген аралыктан багытталган ультраүн толкунунун өтүү убактысы менен салыштыруу керек, б.а. өз ара кесилишкен X,Y,Z багыттары боюнча алынган аралыктан сырткы күч жокто жана анын таасири астындагы багытталган туурасынан таралган ультраүн толкундарынын өтүү убактыларынын айырмасын аныктоо керек:

$$T_{\Delta SX} = T_{SX} - T_{SOX}, \quad T_{\Delta SY} = T_{SY} - T_{SOY}, \quad T_{\Delta SZ} = T_{SZ} - T_{SOZ}$$

Бул жерде $T_{\Delta SX}, T_{\Delta SY}, T_{\Delta SZ}$ - багытталган туурасынан таралган ультра үн толкунунун материалдын чыңалган жана чыңалуусуз (калдык чыңалуу жок кезде) абалындагы тийешелүү X,Y,Z октору багытында өтүү убактыларынын айырмасы;

T_{SX} , T_{SY} , T_{SZ} - тийешелүү X,Y,Z огунун багыттары боюнча туурасынан таралган багытталган ультраүн толкундарынын материалдын чыңалган абалындагы белгилүү аралыгынан өтүү убактысы (калдыктуу чыңалуу бар кезде);

T_{SOX} , T_{SOY} , T_{SOZ} - багытталган туурасынан таралган ультраүн толкунунун тиешелүү X,Y,Z ок багыттары боюнча чыңалуусуз материалдан өткөн убакыттары (калдык чыңалуусу жок).

Анда 2 -чи формуладан төмөнкү формулаларды алса болот:

$$\sigma_X = \frac{(T_{SZ} - T_{SOZ})}{T_{SOZ}} K_Z; \ \sigma_Y = \frac{(T_{SX} - T_{SOX})}{T_{SOX}} K_X; \ \sigma_Z = \frac{(T_{SY} - T_{SOY})}{T_{SOY}} K_Y \quad (3),$$

$$\sigma_X = (\frac{T_{SZ}}{T_{SOZ}} - 1) K_Z; \ \sigma_Y = (\frac{T_{SX}}{T_{SOX}} - 1) K_X; \ \sigma_Z = (\frac{T_{SY}}{T_{SOY}} - 1) K_Y \quad (4).$$

Төртүнчү формуладагы убакыттарды ылдамдык менен алмаштырып, тийешелүү багыттар боюнча тик багытталган (нормалдык) чыңалуунун формуласын алууга болот [4].

$$\sigma_X = (\frac{V_{SOZ}}{V_{SZ}} - 1) K_Z; \ \sigma_Y = (\frac{V_{SOX}}{V_{SX}} - 1) K_X; \ \sigma_Z = (\frac{V_{SOY}}{V_{SY}} - 1) K_Y \quad (5).$$

Бул жерде σ_X , σ_Y , σ_Z - тийешелүү X,Y,Z багыттарындагы нормалдык чыңалуулар;

K_X , K_Y, K_Z - X,Y,Z багыттарына тийешелүү чыңалуунун толкундук модулу;

V_{sx}, V_{sy}, V_{sz} - X,Y, Z багытында туурасынан таралган багытталган ультраүн толкундарынын чыңалуусу бар материалдын белгилуу аралыгында аныкталган ылдамдыгы;

V_{sox}, V_{soy}, V_{soz} - X,Y,Z багыттарына тийешелүү, багытталган туурасынан таралган ультраүн толкундарынын материалдын чыңалуусуз абалындагы ылдамдыгы.

Изилдөөлөрдү улантып, ар кандай касиеттүү тоо-тектерине изилдөөлөр жүргүзүлдү, анын ичинен төмөнкү тоо-тектери кененирээк изилденди: мраморлошкон акиташ, гранит, метасамотит, хлорит-серициттүү филлит.

Кумтөр кенинен алып келинген метасамотиттердин куб формадагы үлгүлөрү 3 багытта изилденди. Жогоруда көрсөтүлгөн формуланын жардамы менен нормалдуу чыңалуулар аныкталды. Метасамотиттен жасалган куб формасындагы үлгүнү X багыты боюнча изилдегенде, эң чоң чыналуу субмеридианалдык багытка туура келди, бул багытта σ_X = 30МПа чоюлуучу калдыктуу чыңалуу бар экендиги аныкталды (1-сүрөт). Ал эми субшироттуу багытта σ_Y = -29МПа кысылуучу калдыктуу чыңалуу бар экендиги табылды. Ошондой эле нормалдуу чыңалуунун max жана min маанилери табылды (1-сүрөт).



1-сүр.Горизонталь (X) багыт боюнча калдык чыңалуунун графиги (Метасамотит, Кумтөр рудниги, σ_X =30 МПа; $\sigma_{1(max)}$ = 49,6 МПа; $\sigma_{3(min)}$ = 10,5 МПа).

Ал эми хлорит-сериците азыраак өлчөмдө калдыктуу чыңалуу бар экендиги такталды (2-сүрөт).



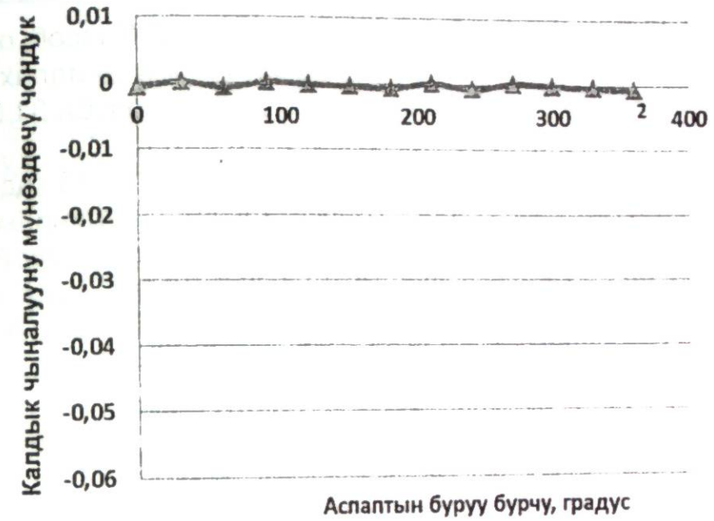
2-сур.Калдык чыңалууну мүнөздөөчү чоңдуктардын графиги, хлорит-серициттүү филлит (Кумтор кени).

Гранит тоо-тегинде филлитке караганда да азыраак өлчөмдө калдыктуу чыңалуу бар экендиги такталды (3 - сүрөт).



3-сур. Калдыктуу чыңалууну мүнөздөөчү чоңдуктардын графиги. Гранит тоо-теги (Восточный Коунрад).

Мраморлошкон акиташта калдыктуу чыңалуу жок экендиги такталды (4-сүрөт).



4-сур. Калдыктуу чыңалууну мүнөздөөчү чоңдуктардын графиги, мраморлошкон акиташ (Ингичке).

Корутунду

- Өз ара тик багытта болгон, багытталган туурасынан таралган ультраүн толкундарынын ылдамдыктарынын айрымасы тоо-тектериндеги калдык чыңалуунун чоңдугуна жана анын багытына жараша болоору аныкталды.
- Багытталган туурасынан таралган ультраүн толкундарын колдонуу менен биз сунуштаган ыкма (метод) менен аныкталган калдык чыңалуулар, кеңири белгилүү болгон поляризациялык-оптикалык ыкма (метод) менен табылган, көрүүгө боло турган, изохром сүрөттөрү менен жакшы дал келди.
- Жыйынтыгында өз ара тик багытталган туурасынан таралган ультраүн толкундарынын ылдамдыктарынын айырмасын аныктоочу, тоо-тектеринде калдык чыңалуунун бар же жок экендигин жана белгисин аныктоого мүмкүнчүлүк берүүчү ыкма (метод) иштелип чыкты.

Колдонулган адабияттар

1. Тажибаев К.Т. Т.2 Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород. Бишкек-Алтын Принт-2016. С.45-47.

2. Гуща О.И. Ультразвуковой метод определения остаточных напряжений. Состояния и перспективы/ Экспериментальные методы исследований деформаций и напряжений. Киев 1983. 77 с.

3. Патент 1245.Кыргызская Республика (2009.01). Способ определения остаточных напряжений в твердых материалах.[Текст]: / К.Т.Тажибаев, М.С. Акматалиева, Д.К.Тажибаев; опубл.31.03.2010.

4. Диплом №453 на научное открытие от 3 октября 2013 года, г.Москва. Закономерность изменения относительной величины скорости прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны от механического напряжения в твердых материалах (закон Кушбакали).[Текст]: / К.Т.Тажибаев, Д.К.Тажибаев, М.С. Акматалиева // Научные открытия - 2013.- М.РАЕН, 2014г.-С.48-50.

УДК 531.781.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ МОДЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦАХ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ПРОЦЕССЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ

И.Т.Айтматов, К.Т.Тажибаев, Г.О.Казакбаева
Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек

В статье изложены экспериментальные результаты выявления характера распределения остаточных напряжений в оптически активных модельных образцах и их влияния на процессы деформирования и разрушения при одноосном сжатии.

Ключевые слова: термообработка, остаточные напряжения, главные нормальные напряжения, деформация, скачкообразность, сжатие, растяжение.

ОПТИКАЛЫК АКТИВДҮҮ МОДЕЛДИК НУСКАЛАРДАГЫ КАЛДЫКТУУ ЧЫҢАЛУУ ТАЛААЛАРЫН ЖАНА АЛАРДЫН МАЙЫШУУ ПРОЦЕССИНЕ ЖАНА КЫЙРООГО ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИН ИЗИЛДӨӨ

И.Т.Айтматов, К.Т.Тажибаев, Г.О.Казакбаева
Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын геомеханика жана жер казынасын өздөштүрүү институту, Бишкек ш.

Илимий макалада оптикалык активдүү моделдик нускалардагы калдыктуу чыңалуулардын жайланышуу мүнөзүн жана алардын бир жактуу кысуудагы майышуу процессине жана кыйроого тийгизген таасирин аныктоодогу тажырыйба жыйынтыктары жарыяланды.

Өзөктүк сөздөр: калдыктуу чыңалуу, башкы тик чыңалуу, майышуу, кескин түрдөгү өзгөрүлмөлүүлүк, кысылуу, чоюлуу.

RESEARCH OF FIELDS OF RESIDUAL STRESSES IN OPTICALLY ACTIVE MODELLING SAMPLES AND THEIR INFLUENCES ON DEFORMING AND DESTRUCTION PROCESSES

I.T Aytmatov, K. T. Tazhibaev, G.O. Kazakbaeva
Institute of geomechanics and development of bowels of National academy of Sciences of the Kirghiz Republic, Bishkek

In article experimental results of revealing of character of allocation of residual stresses in optically active modelling samples and their influences on deforming and destruction processes at axial compression are stated.

Keywords: heat treatment, residual stresses, the main normal stresses, deformation, irregularity, compression, a distention.

Введение

Условия формирования напряженного состояния пород верхней части земной коры в сейсмоактивных горных районах обусловлены многими геолого-структурными и геомеханическими факторами. Напряженное состояние породного массива обуславливает проявления горного давления в виде необратимых деформаций и внезапных обрушений горных пород вокруг различных горных выработок. По этой причине для решения геомеханических задач горного производства главное внимание ученых и специалистов направлено на изучение напряженного состояния горных пород.

Во второй половине XX века исследователями и специалистами по механике горных пород в различных регионах земного шара были выполнены экспериментальные измерения естественных механических напряжений в массивах скальных пород. Результатами таких экспериментальных измерений напряжений непосредственно в натурных условиях было выявлено существенная неоднородность компонент естественных полей напряжений в пространстве. При этом были выявлены, что на отдельных участках породных массивов выделяются зоны с аномально высокими значениями напряжений, которые не вписываются в рамки сложившихся представлений о распределении напряжений в породных массивах, т.е. не всегда согласуются не только с гравитационной, но и с гравитационно-тектонической моделью напряженного состояния горных пород. Во второй половине XX столетия дальнейшие экспериментальные измерения напряжений в натурных и в лабораторных условиях в породных блоках, отделенных от массива и в кернах, привели к выявлению наличия в них существенных остаточных напряжений [1-4].

В результате измерений действующих напряжений, а также и остаточных напряжений в кернах, отобранных из мест измерения действующих в массиве напряжений, были установлены экспериментальные факты совпадения периодического характера (фазы) пространственного изменения остаточных и действующих напряжений, обусловленность неоднородного пространственного изменения действующих напряжений неоднородными по своей природе остаточными напряжениями горных пород удароопасных месторождений [12]. Таким образом, сложилось устойчивое представление, что кроме гравитационных напряжений в земной коре

действуют существенные тектонические и остаточные напряжения [10,11].

В результате теоретических и экспериментальных исследований проявлений остаточных напряжений в деформации и разрушении горных пород было сделано научное открытие ранее не известного явления скачкообразного освобождения остаточных напряжений в горных породах [5]. Это научное открытие меняет существующие представления механического поведения твердых материалов под нагрузкой, объясняет аномальные скачкообразные и знакопеременные дефомации горных пород перед горными ударами и землетрясениями. Таким образом, остаточные напряжения являются одними из основных факторов, приводящих к неравномерному распределению напряжений в массивах горных пород сейсмоактивных зон, обуславливающих горные удары и землетрясения в зонах их высокой концентрации. Это подтверждается результатами многолетних исследований остаточных напряжений горных пород и их проявлений различными методами в натурных и в лабораторных условиях.

Как известно, проведение экспериментальных исследований действующих и остаточных напряжений в натурных условиях трудоемко и технически сложно. Поэтому особое внимание обращается исследованиям остаточных напряжений хорошо разработанными методами на моделях в лабораторных условиях. Одним из таких методов является поляризационно – оптический метод. Нами в настоящей статье приводятся экспериментальные результаты, полученные этим методом на оптически активных твердых образцах.

Методика проведения эксперимента

Для проведения экспериментальных исследований, изготовлены образцы из оптически активного материала ЭД-6, и они имели призматические формы и размеры образца составляли 10x5x2см. Методика изготовления оптически активного материала приведены в литературных источниках [6-9]. Специальным температурным режимом в модельных образцах были созданы разные уровни остаточных напряжений. Определение их величин в интересующих нас направлениях было произведено поляризационно-оптическим методом при помощи прибора КСП-7.

Для исследования влияния остаточных напряжений на процессы деформирования и разрушения, модельные образцы подвергались одноосному сжатию на прессе ЦДМ – 30 по стандартной методике. Торцы образцов шлифовались до требуемой стандартом параллельности и чистоты (отклонение от параллельности торцевых поверхностей образца допускалось до 0,05мм). Нагрузка на торцевые поверхности образцов передавалась непосредственно плоскими стальными плитами пресса. Скорость нагружения составляла 0,5-1,0

МПа/сек. Измерения поперечной и продольной деформации испытываемого образца в средней его части, осуществлялись четырьмя индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 мм. Нагружения производилась ступенями и во время замеров поддерживалась постоянной. Для получения более полной информации продольная, поперечная деформации измерялись индикаторами с двух противоположных сторон образца. Это позволило получить более полную информацию о деформациях. То, что измерение деформаций производились в средней части образца обосновано тем, что в этой части образца с отношением высоты к ширине равным двум, при нагружении напряженно-деформированное состояние более равномерное и представительнее для данного вида нагружения. В таком случае влияние контактных условий передачи нагрузок в средней части образца незначительно. База измерения продольной деформации составляла 50мм, а поперечной деформации 25мм.

Испытывались на одноосное сжатие несколько образцов с разными уровнями остаточных напряжений, а условия передачи нагрузок на них были одинаковые. Некоторые результаты исследований нами опубликованы в работах [10-11]. В одном из образцов под №6, при установленном нами температурном режиме, значительные остаточные напряжения были созданы только на одной его половине. Картина полей остаточных напряжений в этом образце приводится ниже на рис.1. Величины остаточных напряжений определены только по горизонтальному сечению в средней части образца и построены их эпюры.

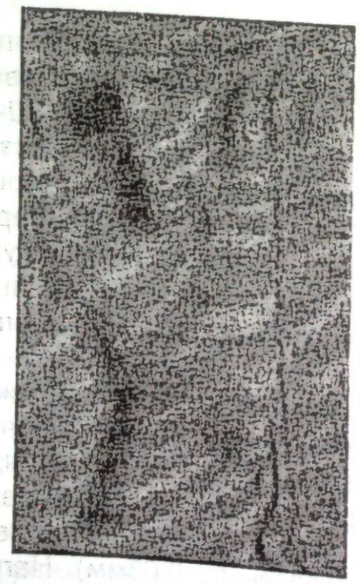


Рис. 1. Картина изохром остаточных напряжений в образце №6.

Эпюры главных нормальных остаточных напряжений по горизонтальному сечению образца показывают, что на той половине, где практически нет остаточные напряжения, их значения по поляризационно-оптическому методу равны нулю, т.е. σ_1 и $\sigma_2 = 0$, а на другой половине образца (рис. 1) имеют место как сжимающие, так и растягивающие напряжения. Ближе к боковой части образца образовалась зона более высоких растягивающих остаточных напряжений (рис.2).

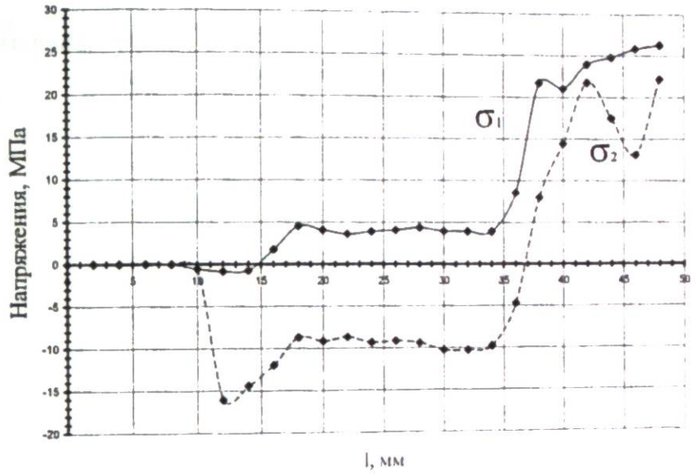


Рис.2. Эпюры главных нормальных остаточных напряжений по горизонтальному сечению образца №6.

Эпюры максимальных касательных напряжений показывают, что ближе к боковой части образца наблюдается скачкообразное распределения остаточных напряжений (рис. 3).

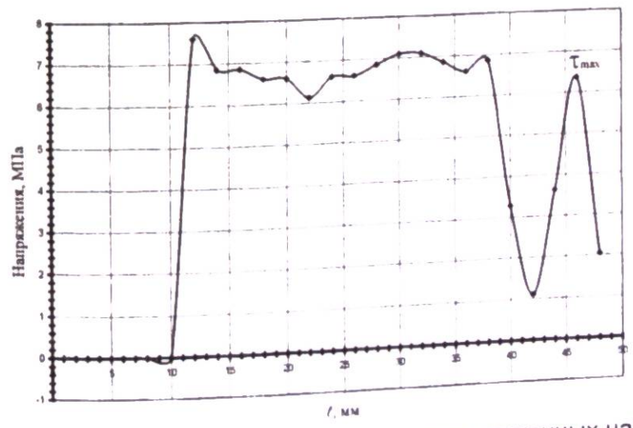


Рис.3. Эпюры максимальных касательных остаточных напряжений по горизонтальному сечению образца №6.

Эксперименты, выполненные нами на образцах из оптически активного материала с остаточными и без остаточных напряжений на одноосное сжатие, показали совершенно различный характер их деформирования и разрушения. Образцы были изготовлены из одного и того же материала, но отличались лишь наличием или отсутствием в них остаточных напряжений. Для примера приведем графики зависимости продольной и поперечной деформации образцов с остаточными (рис. 4) и без остаточных напряжений (рис. 5).



Рис. 4. График относительной продольной деформации при нагружении и разгрузке (ЭД-6, образец 8(7-1)06, с наведенными остаточными напряжениями, среднее значение).

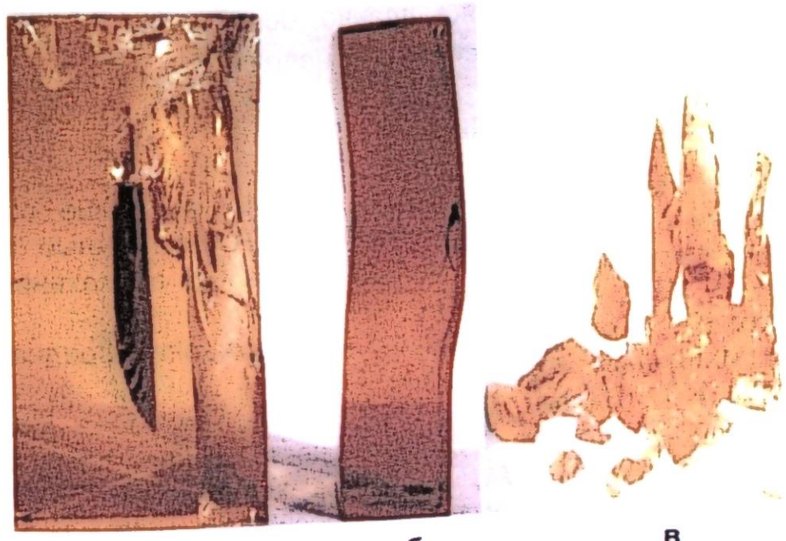
Как видно из графика (см. рис. 4) образец с остаточными напряжениями при одноосном сжатии деформируется скачкообразно, а без остаточных напряжений (см. рис. 5) деформируется без скачков.

Если образец без остаточных напряжений при заданной нагрузке претерпел лишь некоторую пластическую деформацию изгиба (рис. 6 б), то при таком же уровне нагрузки образцы с остаточными напряжениями разного уровня (рис. 6, а, в) претерпели хрупкое динамическое разрушение.

Иначе говоря, образцы с остаточными напряжениями и без остаточных напряжений, механически однотипные и структурно однородные, при равнозначных условиях нагружения повели себя совершенно различно.



Рис. 5. График относительной поперечной деформации при нагружении и разгрузке (ЭД-6, образец 11, без остаточных напряжений, среднее значение).



а б в

Рис. 6. **а** - образец №6 с остаточным напряжением на одной половине; б) - без остаточных напряжений; в) – с высоким уровнем остаточных напряжений после испытаний на одноосное сжатие.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований

показали, что остаточные напряжения в образцах при их одноосном сжатии являются причиной скачкообразной и знакопеременной деформации и динамического разрушения.

Выводы

1. Установлено, что пространственное распределение полей остаточных напряжений в твердых оптически активных модельных образцах вне зависимости от их уровня имеет неоднородный, зачастую знакопеременный, скачкообразный характер.
2. Анализ влияния различного уровня остаточных напряжений в однородных модельных образцах на характер их деформирования и разрушения при одноосном сжатии свидетельствует о том, что остаточные напряжения, даже при малых внешних нагрузках, перераспределяясь в пределах образца, обусловливают скачкообразное изменение деформаций, появление трещин и развитие процесса динамического разрушения (разрушение, сопровождаемое звуком и разлетом раздробленных частиц).
3. Модельные образцы, в которых отсутствовали остаточные напряжения (после отжига), при одинаковых условиях нагружения показали, что они могут выдержать более высокую нагрузку не разрушаясь, деформируясь плавно, без скачков по сравнению с образцами, имеющими остаточные напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влох Н.П., Липин Я.И., Сашурин А.Д. Исследование остаточных напряжений в крепких горных породах // Современные проблемы механики горных пород: Матер. 4-ой Всес. конф. по механике горных пород. – Л., 1972. – С. 186–189.
2. Айтматов И.Т. Геомеханика рудных месторождений Средней Азии. – Фрунзе: Илим, 1987. – 246 с.
3. Айтматов И.Т., Вдовин К.Д., Глухов Г.А., Тенизбаев К.К. Оценка напряженного состояния и удароопасность горных пород Восточно-Коунрадского рудника // Диагностика напряженного состояния и свойств горных пород в массиве. – Новосибирск, 1980. – С. 77–80.
4. Айтматов И.Т., Тажибаев К.Т. Определение остаточных напряжений в гранитах Восточно-Коунрадского месторождения // Напряженное состояние горных пород и их разрушение. – Фрунзе: Илим, 1986. – С. 74–77.
5. Айтматов И.Т., Тажибаев К.Т. Явление скачкообразного освобождения остаточных напряжений в горных породах. / Диплом на научное открытие (диплом № 90, № А-109 от 29.04. 1998 г.). – Москва, 1998.
6. Малкис Н.И., Трумбачев В.Ф. Оптически чувствительные полимерные материалы для решения задач горного давления // Физ.-техн. пробл. разработки полез. ископаемых (ФТПРПИ), 1971. – №2. – С. 70–77.
7. Хаимова-Малькова Р.И.. Методика исследования напряжений поляризационно-оптическим методом. – Москва: Наука, I970. – С. 81-87.
8. Фрохт М.М. Фотоупругость. Поляризационно-оптический метод исследования напряжений. Т.1.– М.; Л.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1948. – 432 с.
9. Фрохт М.М. Фотоупругость. Поляризационно-оптический метод исследования напряжений. Т. 2. – М.; Л.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1948. – 488.с.
10. Айтматов И.Т., Тажибаев К.Т., Казакбаева Г.С. О пространственном распределении действующих и остаточных напряжений в горных породах // Современные концептуальные положения в механике горных пород / Тр. Межд. науч.конф. – Бишкек: Илим, 2002. – С.223–230.
11. Айтматов И.Т., Тажибаев К.Т., Казакбаева Г.О. Особенности пространственного распределения остаточных напряжений и их влияние на деформации и разрушение горных пород // Геодинамика и напряженное состояние недр земли: Тр. межд. конф. 6–9 окт. 2003 г., Новосибирск – Новосибирск, 2004. – С. 217-222.
12. Тажибаев К. Т. Условия динамического разрушения горных пород и причины горных ударов. – Фрунзе: Илим, 1989. – 179 с.

УДК 622.834.1

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОГНОЗА СДВИЖЕНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПОД ВЛИЯНИЕМ ПОДЗЕМНЫХ РАЗРАБОТОК

Ш.А.Абдибаитов
Институт горного дела и горных технологий им. акад. У.Асаналиева, Кыргызская Республика, г. Бишкек

В статье проведен анализ методов исследования и прогнозирования сдвижения подработанного массива пород под влиянием подземных разработок при освоении месторождений твердых полезных ископаемых.

Ключевые слова: деформация, сдвижение, горные породы, массив, метод, подземная разработка, обрушение.

ЖЕР АСТЫНДАГЫ КАЗМА ЖУМУШТАРЫНЫН ТААСИРИНЕН ТОО-ТЕКТЕРИНИН ТУЛКУСУНУН КЫЙМЫЛГА КЕЛИШИН ИЗИЛДӨӨ ЖАНА АЛДЫН АЛА АЙТУУ ЫКМАЛАРЫ

Ш.А.Абдибаитов
Акад. Ү.Асаналиев атындагы Тоо-кен иштери жана тоо-кен технологиялары институту, Кыргыз Республикасы, Бишкек ш.

Макалада катуу пайдалуу кендерди өздөштүрүүдө жер астында иштетүү жумуштарынын таасиринен астынан иштетилген тектердин тулкусунун кыймылга келишин изилдөө жана алдын ала айтуу ыкмаларына анализ жүргүзүлгөн.

Өзөктүк сөздөр: майышуу, кыймылга келүү, тоо-тектери, тулку, ыкма, жер астында иштетүү, урап түшүү.

METHODS OF RESEARCH AND FORECAST OF SHEARINGS OF THE FILE OF ROCKS UNDER THE INFLUENCE OF UNDERGROUND MININGS

Abdibaitov Sh.A.
Institute of mining and mining texnolodgies named after academy U.Asanaliev, Kirghiz Republic, Bishkek

In article the analysis of methods of research and forecasting of shearings of the earned additionally file of rocks under the influence of underground mining at developing deposits of solid minerals are considesed.

Keywords: deformation, shearing, rocks, massif, method, underground mining, collapse

Подземная разработка месторождений твердых полезных ископаемых вызывает деформации и сдвижения, влияющие непосредственно на безопасность окружающих объектов и самих горных работ, поэтому проблемы по обеспечению безопасности подземных разработок и снижению их вредного влияния на окружающую среду существуют с давних пор и более пятисот лет не теряют своей актуальности. П.М. Леонтовский и С.Г. Авершин отмечали, что некоторые законодательные положения в области охраны поверхности от вредного влияния подземных разработок были приняты еще в XVв. [1]. Так, например, известны бельгийские законы, разрешавшие производить горные работы под Льежом на глубинах не менее 100м и грозившие смертной казнью за приближение разработок к водоносным слоям, питавшим город водою.

Точная характеристика роли и места сдвижения горных пород в развитии подземной разработки полезных ископаемых дана И.М.Бахуриным: «…Сдвижение пород в руднике является одним из основных затруднений при добыче полезных ископаемых. Оно же является одной из основных угроз безопасному ведению горных разработок: оно ломает крепление, уменьшает полезное сечение выработок, а иногда и совершенно заваливает их. Мы не ошибемся, если скажем, что вся история изыскания наилучших систем разработок есть история борьбы со сдвижением пород» [2] -С.7.

В общем случае предполагается, что при разработке месторождений твердых полезных ископаемых в области влияния подземных горных работ в массиве пород и на земной поверхности возникают следующие виды деформаций – изгиб, сдвиг, растяжение и сжатие, которые в зависимости от интенсивности сдвижения проявляются в виде плавных сдвижений без нарушения сплошности, с образованием трещин и в форме обрушения. Сохраняя общие черты геомеханической модели месторождения, характер процесса сдвижения и его параметры зависят в первую очередь от строения вмещающих пород. Основное различие между развитием процесса сдвижения и образования провалов в слоистой и неслоистой толще пород состоит в механизме разрушения и в характере их деформирования.

В теории и практике охраны сооружений для характеристики различных сторон процесса сдвижения пород применяют свыше полутора десятков параметров, которые условно можно разбить на следующие группы:

•угловые параметры (граничные углы, углы сдвижения, разрывов, обрушения, воронкообразования);

•деформации и сдвижения пород и земной поверхности (оседания, наклон, кривизна, горизонтальные сдвижения, растяжение и сжатие);

•временные параметры (продолжительность процесса сдвижения, скорость деформаций и сдвижений, период опасных деформаций) [1].

При решении вопросов сдвижения горных пород и охраны сооружений, перечисленные параметры используются в различной мере в зависимости от конкретных условий разработки и степени изученности, отражаемых в нормативных документах. Данные о характере сдвижения горных пород и величинах параметров сдвижения рудных месторождений получают, главным образом, с помощью инструментальных наблюдений. Сопоставимость результатов наблюдения, проводимых в разнообразных горно-геологических условиях различными организациями, обеспечивается специальной инструкцией, обязательной для всех организаций, проводящих наблюдения.

Таким образом, проблемы в области сдвижения горных пород и образования провалов, остро стоявшие на протяжении всей истории подземной разработки полезных ископаемых и приобретавшие все большее значение в современной горной промышленности в связи с расширением масштабов добычи и освоением глубокозалегающих месторождений со сложными горнотехническими условиями, относятся к разряду важнейших. От решения их в значительной мере зависит выполнение основной цели горной науки «...создать наиболее совершенные технические средства и технологические способы, и приемы для достижения наиболее безопасной и экономичной разработки полезных ископаемых при всемерном облегчении труда шахтеров» [3].

Современные методы прогнозирования деформаций и сдвижений для проектирования мер охраны сооружений и природных объектов от влияния подземных разработок на рудных месторождениях по аналогии с угольными по основным предпосылкам, и используемым для прогноза, можно подразделить на эмпирические, базирующиеся на функциях распределения, и основанные на теоретических моделях. Наиболее распространены в современной практике разработки рудных месторождений эмпирические методы прогнозирования условий образования провалов, основанные на результатах инструментальных наблюдений.

Накопленный эмпирический материал по сдвижению горных пород и современный уровень знаний о напряженном состоянии массива горных пород дают возможность сделать очередной шаг в развитии теоретических представлений о процессе сдвижения – рассматривать сдвижения и деформации как составную часть единого процесса

изменения напряженно-деформированного состояния под влиянием подземной разработки. Развитие этих представлений позволяет повысить достоверность прогнозирования процесса сдвижения за счет осуществления его с помощью физических закономерностей, раскрывающих причинно-следственные взаимосвязи.

На этих предпосылках основываются методы третьей группы, использующие теоретические модели. Методы прогнозирования сдвижений и деформаций с использованием зависимостей их параметров от первоначального напряженного состояния в последние годы разрабатываются Институтом горного дела Уральского отделения РАН применительно к месторождениям руд черных металлов Урала и Казахстана [1,4,5].

Разнообразие геологических и горнотехнических условий разработки угольных и рудных месторождений обуславливают обилие форм процессов сдвижения толщи пород и земной поверхности, а также сложность и разнообразие вопросов, связанных со сдвижением горных пород и охраной объектов и сооружений.

В процессе изучения сдвижения подработанного массива и земной поверхности очень важно установить степень влияния определяющих факторов. В научно-технической литературе рассматривается различное число факторов, оказывающих влияние на характер и параметры процесса сдвижения и образования провалов. Большинство из них изучены очень слабо, и количественно определить их влияние на параметры сдвижения не представляется возможным. Определение оптимальных углов и других параметров сдвижения представляет значительные трудности и производится с помощью наблюдений в натурных условиях и обобщении их результатов. Тем более трудно установить влияние комплекса факторов. Поэтому в каждом случае для конкретного месторождения или его участка необходимо установить и оценить те факторы, которые будут определять процесс сдвижения.

Анализ научно-технической литературы по сдвижению массива пород и фактических данных по многим месторождениям показывает, что образование провалов и опасных деформаций земной поверхности зависит не только от мощности залежей, но и от угла падения и геометрических размеров рудных тел в плане.

Причинами возникновения опасных деформаций и образования провалов являются значительные размеры отработанных участков и их соизмеримость с глубиной. Если размеры выработанного пространства остаются небольшими по сравнению с глубиной залегания выработки, то процессы отслоения и изгиба слоев может не достигнуть земной поверхности, которая остается в устойчивом состоянии.

Механические свойства и структурные особенности горных пород оказывают влияние на все параметры и показатели процесса сдвижения и образования провалов. Наиболее тесная зависимость этого фактора

прослеживается в значениях углов сдвижения у нижней границы выработанного пространства рудных тел, полученных при различных свойствах пород.

Образование провалов связано с обрушением пород кровли. С уменьшением прочности налегающих пород величина безопасной глубины также изменяется, и в расчетные формулы вводятся соответствующие значения коэффициента в зависимости от прочности пород. Это связано с тем, что характер обрушения пород и параметры процесса сдвижения существенно зависят от физико-механических свойств и структурных особенностей пород.

Процесс сдвижения наиболее широко изучен на месторождениях со слоистым строением пород, к которым относятся все угольные и сланцевые месторождения и более 60% рудных месторождений. На основании выявленных здесь закономерностей разработаны методы расчета сдвижений и деформаций, позволяющие удовлетворительно решать многие задачи производства.

Наряду с общими чертами процесс сдвижения горных пород на отдельных месторождениях (даже со слоистым строением пород) имеет свои специфические особенности. Эти особенности определяются в основном условиями залегания пород, системами разработки, способами управления горным давлением и другими влияющими факторами [6].

Практика разработки рудных месторождений показывает, что к обрушению склонны трещиноватые или слоистые слабые породы, имеющие геологические нарушения. Нарушенность породного массива является важным фактором, от которого зависят как значения деформаций, так и характер их распределения в мульде сдвижения. Как отмечал акад. АН Киргизской ССР С.Г. Авершин, трещиноватость – это одно из важнейших характеристик, определяющих процесс сдвижения горных пород [7]. В изверженных и метаморфических породах, вмещающих рудные месторождения, трещиноватость, как правило, развита, в большей степени, чем в осадочных породах, слагающих угольные месторождения. С увеличением степени трещиноватости пород активизируется развитие процесса сдвижения, расширяется область влияния горных выработок и уменьшается углы сдвижения и разрывов.

Опыт отработки сурьмяно-ртутных месторождений Кыргызстана в горных условиях, представленных линзами, штокверками, небольшими пластообразными залежами показал, что процесс сдвижения горных пород и земной поверхности не получает полного развития. Сдвижение горных пород, как правило, не распространяется до земной поверхности, а затухает где-то в массиве. Если же сдвижение горных пород достигает земной поверхности, то последнее деформируется в виде плавного прогиба или образует зоны обрушений. Размеры мульды сдвижения на

земной поверхности над рудными телами, кровля которых представлена породами с коэффициентом крепости $f<8$, незначительно превосходят размеры отрабатываемой залежи, повторяя контуры очистного пространства. Величина максимальных деформаций земной поверхности невелика, но из-за незначительных размеров мульды наклон и радиус кривизны могут превышать критически допустимые величины. Углы сдвижения поверхности крутые – около и более 90^0.

Таким образом, при изучении проблемы сдвижения горных пород под влиянием подземных разработок, большое внимание должно уделяться натурным методам исследований: инструментальным и визуальным наблюдениям, поскольку только такие методы исследований могут дать ценный материал по процессам сдвижения, анализ и обработка которых позволит удовлетворительно решить эту проблему.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сашурин А.Д. Сдвижение горных пород на рудниках черной металлургии. –Екатеринбург, ИГД УрО РАН, 1999. –268с.
2. Бахурин И.М. Сдвижение горных пород под влиянием горных разработок. –М. –Л.:Гостопиздат, 1946. –229с.
3. Мельников Н.В. Горные инженеры – выдающиеся деятели горной науки и техники. –М.:Наука, 1970. –170с.
4. Сдвижение горных пород и земной поверхности при подземных разработках / Борщ-Компониец В.М., Батугина И.М., Варлашкин В.М. и др. –М.:Недра, 1984. –247с.
5. Шадрин А.Г. Теория и расчет сдвижений горных пород и земной поверхности. –Красноярск. Изд-во ун-та, 1990. –199с.
6. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. –Л.:Недра, 1989. –488с.
7. Авершин С.Г. Сдвижение горных пород при подземных разработках.–М.:Углетехиздат, 1947. –245с.

УДК –551.1; 624:131; 631.41

НОВЫЕ V_s 30 КАРТЫ И ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СЕЙСМОСТОЙКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И СНИЖЕНИЯ ГЕОРИСКОВ ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В КЫРГЫЗСТАНЕ

Б.Д. Молдобеков, С.Ж. Орунбаев, Ш.Э. Усупаев, Векслер Г.
Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, Кыргызская Республика, г. Бишкек

В статье даны инженерные системы комплексного мониторинга землетрясений. Приведены переданные в профилирующие организации серии составленных карт сейсмического микрозонирования городов Бишкек, Каракол, Нарын и новая карта сейсмической опасности территории Кыргызстана. Построены карты уязвимости зданий г. Бишкек и созданы действующие сети раннего оповещения населения от георисков сейсмического характера. В качестве перспективных для использования в сейсмостойком строительстве демонстрируется впервые составленная на базе сейсмических измерений V_s 30 карта на примере г. Нарын и прилегающих территорий. Аналогичные карты необходимо составить для всех населенных пунктов Кыргызстана.

Ключевые слова: мониторинг, акселерометры, землетрясения, георискы, уязвимость зданий, раннее оповещение, сейсмостойкое строительство.

КЫРГЫЗСТАНДАГЫ ЖЕР ТИТИРӨӨГӨ БАЙЛАНЫШТУУ КООПТУУ ТОБОКЕЛДЕРДИ КЫСКАРТУУ ҮЧҮН ЖАҢЫ VS 30 КАРТАЛАР ЖАНА СИЛКИНҮҮГӨ ТУРУКТУУЛУК КУРУЛУШ ИНЖЕНЕРДИК ЧЕЧИМДЕРИ

Б.Д. Молдобеков, С.Ж. Орунбаев, Ш.Э. Усупаев, Векслер Г.
Жерди прикладдык изилдөөлөрдүн Борбор –Азиялык институту, Кыргыз Республикасы, Бишкек ш.

Макалада жер титирөөгө байкоо жүргүзүү боюнча комплекстүү инженердик система берилди. Кыргызстандын аймагы үчүн силкинүү коркунучу боюнча жана бир катар Бишкек, Каракол, Нарын шаарлары үчүн да силкинүүлөрдү көрсөтүүчү расмий уюмдарга берилген жаңы карталар келтирилди. Бишкектеги курулуштардын кооптуулугунун картасы түзүлдү жана силкинүү коркунучун эртелеп кабарлоо боюнча аракеттеги торчо түзүлдү. Келечекте силкинүү коркунучуна туруктуу курулушка колдонуу үчүн Нарын шаарынын мисалында жана анын айланасындагы аймактарда силкинүүлөрдү өлчөөнүн негизинде түзүлгөн Vs 30 картасы биринчи жолу көрсөтүлдү. Ушундай эле карталарды Кыргызстандын бардык калктуу айыл жерлери үчүн түзүү керек экендиги сунушталды.

Өзөктүк сөздөр: байкоо жүргүзүү, акселерометр, жер титирөө, жер силкинүү тобекелчилиги, имараттардын туруксуздугу, эртелеп эскертүү, силкинүүгө туруктуу курулуш.

NEW V_S30 MAPS AND ENGINEERING SOLUTIONS FOR EARTHQUAKE-RESISTANT CONSTRUCTION AND REDUCTION OF GEORISKS FROM EARTHQUAKES IN KYRGYZSTAN

Moldobekov B., Orunbaev S., Usupaev Sh.
Central-Asian institute of applied researches of the Earth, Kirghiz Republic, Bishkek

In this article, engineering complex earthquake monitoring systems are presented. The series of compiled seismic microzoning maps of the cities of Bishkek, Karakol, Naryn and new maps of the seismic hazard in the territory of Kyrgyzstan are provided to the specialized organizations. The building vulnerability maps are compiled for Bishkek as well as operational networks of early warning of the population on seismic hazards. As a prospective in antiseismic construction, Vs 30 map is compiled on basis of seismic measurements on example of Naryn town and adjacent territories. Similar maps should be compiled for all settlements of Kyrygyzstan.

Key words: monitoring, accelerometers, earthquakes, georisks, buildings vulnerability, early warning, antisesmic construction.

Введение

Проблемой является отсутствие единых моделей землетрясений в Центральной Азии, а также разобщенность разно-ведомственных и несовместимых систем мониторинга землетрясений, что вызывает необходимость внедрения гармонизированных сетей мониторинга сейсмической опасности и создания сети раннего оповещения населения от сейсмокатастроф с разработкой новых карт и соответствующих систем для снижения сейсмических рисков.

Методы исследований.

На рис. 1 приведена «Карта сейсмической опасности Мира, с регионом Центральной Азии и территорией Кыргызстана (а)», где методом решения проблемы обеспечения сейсмической безопасности являлась концепция оснащения региона современными приборами и

оборудованиями в виде эффективно действующей сети дистанционного и наземного мониторинга (рис.1-б), которая была поэтапно реализована в ЦАИИЗ совместно с партнерами из GFZ(б) (Рис.1-2, 4-5) [1-3, 10, 11].

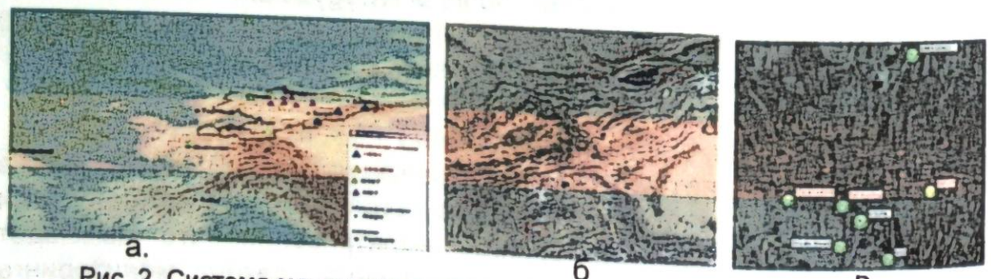
На рисунке 2 приведена созданная и действующая «Система мониторинга землетрясений и их регистрации на зданиях в густонаселенных городах в Кыргызстане и сопредельных странах ЦА».

Используя уникальные возможности созданной новой комплексной сети сейсмо-мониторинга регионального, локального и полигонного характера были составлены «Карты микрозонирования сайт-эффектов по определению резонансной частоты колебаний частиц грунтов для территорий густонаселенных городов Бишкек, Каракол, Нарын в Кыргызстане» аналогичные исследования проводились в городах Душанбе, Хорог (Таджикистан), Алматы (Казахстан) в Центральной Азии [1-3, 10, 11].



а. б.

Рис.1. Карта сейсмической опасности Мира, региона Центральной Азии и территории Кыргызстана (а); приборы и оборудования сети дистанционного и наземного мониторинга ЦАИИЗ созданная совместно с партнерами из GFZ(б).

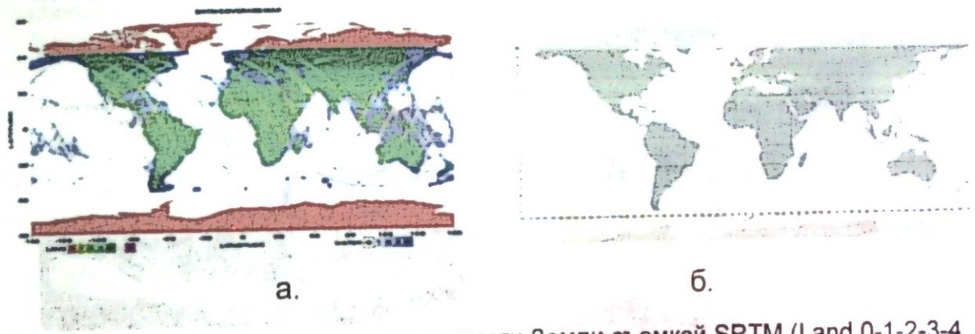


а. б. в

Рис. 2. Система мониторинга землетрясений в грунтах и на зданиях в густонаселенных городах в Кыргызстане и сопредельных странах ЦА

Следующая новая методика исследований использована при построении V_s 30 карты Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) [10]. Это базовая радарная топографическая съемка большей части территории земного шара, за исключением наиболее северных (>60°) и южных широт (>54°), произведенная за 11 дней в феврале 2000 г с помощью специальной радарной системы [17, 18] с борта космического челнока «Индевор». Двумя радиолокационными сенсорами SIR-C и X-

SAR, было собрано более 12 Тб данных, которые в течение 2 лет обрабатывались специалистами NASA. Результатом работы стала цифровая модель рельефа 85% поверхности Земли. (Данные SRTM свободно распространяются в двух вариантах масштаба: SRTM-1 — с размером ячейки одна угловая секунда по широте и долготе (примерно 30 м в районе экватора) и SRTM-3 — с размером ячейки три угловых секунды (примерно 90 м в районе экватора), полученная усреднением из данных SRTM-1. Более точные односекундные данные (SRTM-1) доступны на поверхность Земли (рис. 3-б) октябрь, 2015 г. Также, на поверхность Земли доступны данные SRTM-3 (Рис. 3-а, б) [16].



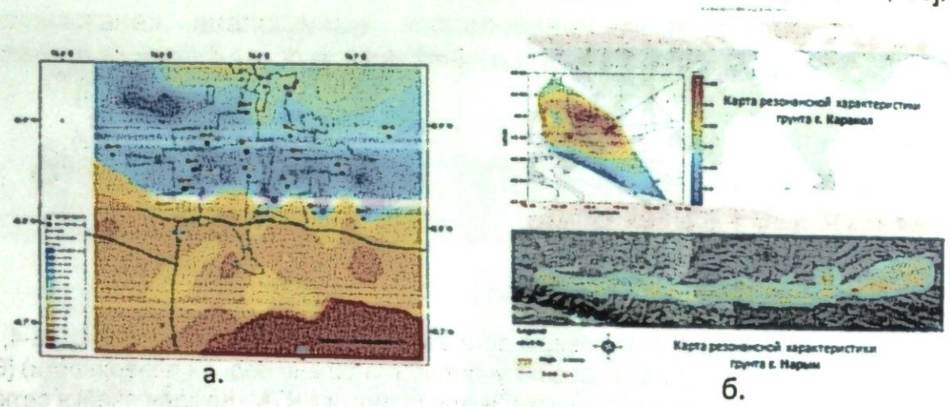
а. б.

Рис. 3. Карта-схема покрытия поверхности Земли съемкой SRTM (Land 0-1-2-3-4, Water 0-1-2-3-4 — сколько раз был снят участок земной или водной поверхности) [6] ()а); карта-схема покрытия поверхности Земли съемкой SRTM. Каждая ячейка сетки имеет размер 6 градусов и покрывает 36 квадратов данных SRTM (б).

Существует три версии данных: предварительная (unfinished, версия 1, октябрь 2015 г), окончательная (finished, версия 2, ноябрь 2016 г) и обработанная. Окончательная версия, которая прошла дополнительную обработку, выделение береговых линий и водных объектов, а также фильтрацию ошибочных значений. Обработанная версия производится CGIAR-CSI[2] [22] и включает сборку мозаик в более крупные фрагменты (6000 x 6000 пикселей или 5 x 5 градусов, вместо оригинальных 1 x 1 градус) и исправление областей с отсутствующими значениями. Данные SRTM предварительной и окончательных версий доступны по ссылкам [13] и [17, 18] соответственно. Данные являются простым 16 битным растром (без заголовка), значение пикселя является высотой над уровнем моря в данной точке. Значение – 32768 означает отсутствие данных. Использована модель референц-эллипсоида — WGS84.

Название квадрата данных версий 1 и 2 соответствует координатам его левого нижнего угла, например, n41e075 соответствует 41 N., 75 E. Определить нужный квадрат можно используя сетку-разграфку (рис. 3-б) или электронную карту мира, с помощью которой находятся координаты интересующего района [12].

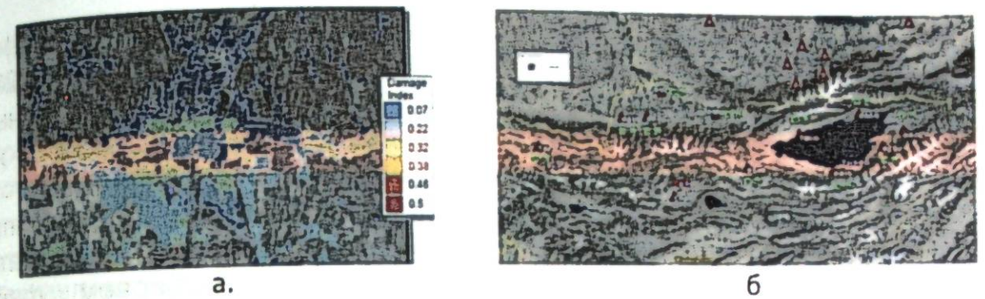
Результатами обобщения и систематизации исследований на базе проведенных полевых комплексных (полигонных групповых, стационарных и мобильных точечных) измерений сейсмичности для территорий густонаселенных городов Кыргызстана Бишкек, Каракол и Нарын, заключаются в получении следующих новых картографических данных. На рис. 4. приведена составленная на основе метода Накомуры «Карты сейсмического микрозонирования сайт эффектов по резонансной частоте колебания частиц грунтов для территории городов Бишкек (Рис.4-а), Каракол и Нарын (Рис.4-б) Кыргызстана, предназначенные как дополнительная цифровая база данных для использования в расчетах сейсмостойкого строительства [1-3, 10, 11].



а. б.

Рис. 4. Карта сейсмического микрозонирования сайт эффектов по резонансной частоте колебания частиц грунтов для территории городов Бишкек, Каракол и Нарын Кыргызстана

Наряду с картами сайт-эффектов были также составлены на основе комплексных инструментальных измерений карты уязвимости зданий и их податливости к разрушительным землетрясениям. На рис. 5 приведены составленные на основе комплексного мониторинга сейсмостойкости и уязвимости зданий различного типа расположенных в зонах с различной сейсмической опасностью «Карта прогноза в реальном режиме времени степени возможного разрушения по индексам повреждения зданий разных типов для населения г. Бишкек при сейсмическом воздействии от моделируемого Кеминского землетрясения (а)»; а также оснащенная современными датчиками сильных движений «Карта размещения региональной сети акселерометров (ACROSS) в системе раннего и быстрого реагирования населения от сильных землетрясений на территории Кыргызстана (б)» (Рис 5) [[1-3, 10, 11].



а. б

Рис. 5. Карта прогноза в реальном режиме времени степени возможного разрушения по индексам повреждения зданий разных типов для населения г. Бишкек при сейсмическом воздействии от моделируемого Кеминского землетрясения (а); Карта размещения региональной сеть акселерометров (ACROSS) в системе раннего и быстрого реагирования населения от сильных землетрясений на территории Кыргызстана (б).

На основе использования основ новой методики исследований подобной при построении V_s 30 карты Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) [13] на рисунке 6 приведены результаты оценки усилений грунта от скальных пород и составленная впервые «Карта сейсмической опасности территории Кыргызстана».

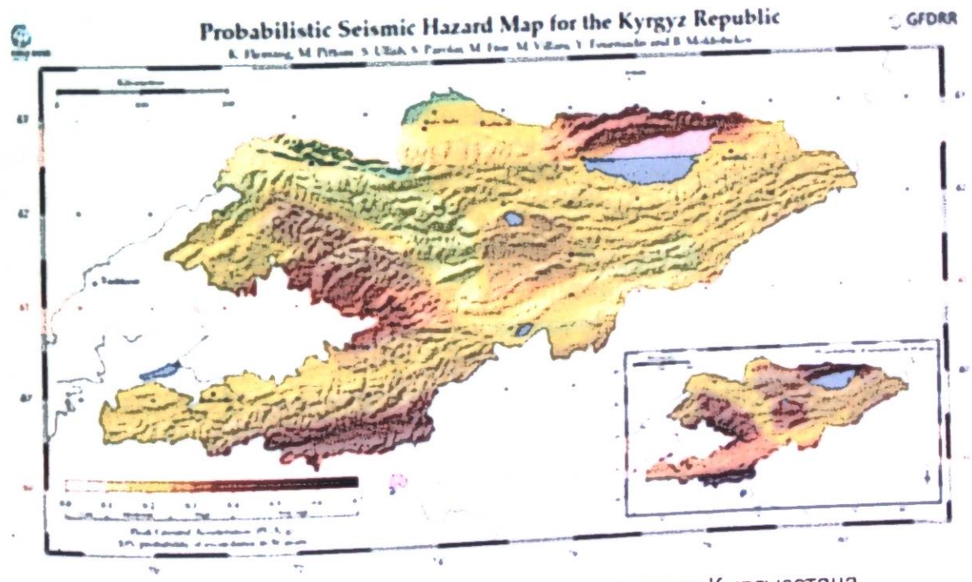


Рис. 6. Карта сейсмической опасности территории Кыргызстана

Новые V_s 30 карты были составлены на примере г. Нарын, с помощью следующих ГИС действий на основе обработки полученных сейсмических измерений.

Обработка данных с помощью GMT. Файлы данных *.hgt импортированы в различные программы построения карт и

геоинформационные системы (ГИС) и GMT (Generic Mapping Tool) и Arcinfo Workstation [21]. Подробности о формате HGT даны в [23]. Следуя описанию [22] опишем поэтапно процесс получения данных SRTM и преобразования их к виду, пригодному для работы в GMT на примере фрагмента рельефа с территорией г. Нарын.

Шаг 1 — скачать файлы hgt. Зайдем на сервер [12] в папку SRTM1/ и затем в папку Eurasia/. Поскольку географические координаты Нарына: 41°25′59″ с.ш. 75°59′59″ в. д., то выбираем файл N41E075.hgt.zip.

Шаг 2 — импорт данных в грид-растр. Распаковав архив, Вначале преобразуем все 4 файла в файлы формата grd: $> xyz2grd N41E075.hgt -GN41E075.grd –R74/75/40/41 –I1c -N-9999 –ZTLhw; $> xyz2grd N41E076.hgt -GN41E076.grd –R75/76/40/41 –I1c -N-9999 –ZTLhw. Полученные файлы N41E075.grd и N41E076.grd объединим в один: $> grdpaste N41E075.grd N41E076.grd -GNaryn.grd.

Шаг 3. Создание изображение из grd-файла. С полученным grd-файлом проводим те же операции, что и с обычным grd-файлом: создаём изображение полутеней, формируем растровую картину и накладываем на неё изображения акваторий, береговой линии, реки, координатную сетку: $> grdgradient Naryn.grd -Ne0.1 -A335 -M -GNaryn.grd; $> grdimage Naryn.grd -INaryni.grd –R74/76/40/41r -JB74/76/40/41/6i -Cmount.cpt -K –P > naryn.ps; $> pscoast -R -J -S218/240/253 -B1g0.5 -O -K -Df -Ia/0.5p,blue -W0.25p,blue -Lf74/76/40/41 >> map.ps. Вычисление кривизны рельефа по данным SRTM1 проведено по программному коду Generic Mapping Tool скрипт составлен в GMT, позволяющей во первых рассчитывать кривизну, а во вторых составлять карту со цветовой палитрой (см.рис.4-а).

Связь наклона местности с сейсмическим строением грунтовой толщи. Сейсмические характеристики грунтов в пространстве статистически связаны с характером рельефа, т.е глубиной и интенсивностью расчленения и средних уклонов поверхности. Землетрясения приводят к смещениям на склонах, где имеется значительный запас устойчивости, воздействуя сейсмоколебаниями на объемы раздробленных пород и ослабляя сцепление и зацепление отдельных обломков. При землетрясениях 9 баллов и более склоны крутизной более 20° независимо от состава слагающего материала теряют устойчивость. На склонах крутизной более 30° сейсмогравитационные смещения возможны при землетрясениях в 9 баллов. Склоны сложенные крупно-глыбовым материалом наиболее устойчивы, а при увеличении крутизны склона сейсмический эффект на галечниках нарастает медленнее, чем на лессах и на суглинках. С ростом уклона рельефа спектр колебаний грунта обогащается высокочастотными составляющими. В условиях сложного рельефа сейсмически активных орогенных областей

необходимо учитывать влияние на интенсивность землетрясений воздействий рельефа местности (см. рис. 4).

По нашим и данным [1, 4, 6, 8], наиболее высокий амплитудный уровень колебаний грунта зафиксирован на гребне склона крутизной 30°, который в два раза превышает соответствующие значения, полученные у подножья. Независимо от ориентации сейсмоприемников относительно склона, преобладающая частота колебаний грунта составляет 5 гц. Приращения сейсмичности, полученные на равнинных территориях вблизи бровки склона крутизной 20-30°, достигает 0,5-1,0 балла.

На склонах до 18-20°, колебания на бровке склона в диапазоне частот (1,5-10 гц), в среднем, в 1,5 раза превышали соответствующие значения, зафиксированные у подножья. Диапазон преобладающих частот колебаний грунта для склонов крутизной 10-12°, независимо от геоморфологического уровня пункта наблюдений и ориентации сейсмоприемников, составили 2-5 гц [8].

Возрастание амплитуд сейсмических колебаний с высотой и крутизной склонов, связано с образованием гравитационных сейсмодеформаций. Сейсмический эффект возрастает от бортов глубоковрезанных долин и каньонов. На устойчивость склонов влияет также характер дислоцированности пород и ориентировка тектонических разрывов по отношению к углу выхода сейсмических волн. Снижению устойчивости склонов к сейсмическому воздействию способствуют процессы выветривания, повышающие дезинтеграцию, пористость и влагопоглощение породы, снижающие прочность и сопротивление сдвигу. В зонах интенсивной трещиноватости увеличивается коэффициент трещиной пустотности, снижается коэффициент сцепления и угла внутреннего трения в связи с изменением минералогического состава, образованием глинки трения. Пересечение разнонаправленных трещин и зон выветривания способствует уменьшению устойчивости склонов и приводит обрушению масс пород при землетрясениях. Устойчивость к сейсмическому воздействию снижается на склонах, с грунтовым потоком и подверженных инфильтрации атмосферных осадков [6].

С поверхности исследуемая территория г. Нарын сложена лессовидными породами, подстилаемыми грунтами с большим содержанием грубообломочного материала - конгломератов, галечников. Результаты измерений показали, что с увеличением крутизны и длины склона возрастает амплитуда колебаний грунта. Значительные увеличения амплитуды отмечаются на склонах, сложенных лессовидными породами, а наименьшие - когда склоны представлены конгломератами осадков [8].

Большое влияние на нарушение устойчивости склонов при землетрясении оказывают антропогенные изменения инженерно-

геологической и гидрогеологической обстановки. При ожидаемой сейсмичности в 9 баллов участки крутых (70° и более) и обрывистых склонов высотой 5 м и более необходимо выделять как неблагоприятные в связи с их потенциальной неустойчивостью [9].

В лессах и лессовидных породах при землетрясениях в 7 и более баллов возникают их обрушения и оползни на крутых склонах оврагов и долин рек, как это имело место при Андижанском землетрясении 1902 года, Каратагском землетрясении 1907 г. [10].

Получение пространственной модели изменения значений Vs30 по данным о наклонах рельефа.

Величина сайт-эффекта может быть оценена по средним значениям скорости Vs волн в верхнем грунтовом слое; принято использовать для этой цели значение Vs30 — среднее значение скорости в верхних 30 м грунта. Полученные значения наклона местности с высоким разрешением на территорию исследований позволяет распространить результаты локальных определений сайт-эффекта по наблюдениям микросейсм на всю исследуемую территорию.

Значения Vs30 были определены методом регистрации сейсмических шумов на 3-х участках г. Нарын для проверки применимости мировых данных по тектонически активным регионам для описания площадного эффекта грунтовых условий для исследуемого региона г. Нарын и его окрестности.

Использовалась методология из работы [9] для получения карт сейсмических откликов грунта (Vs30) в Нарынской области с использованием значений уклона местности. Средняя скорость распространения до 30 м (или Vs30) измерений коррелирует с топографическим наклоном для прогнозирования Vs30 в активных тектонических районах, которые обладают динамическим топографическим рельефом.

Данные показаные на рис. 7 полученные нами для г.Нарын и его окрестностей для нескольких точек, представляют результаты сейсмических измерений, согласующихся с мировыми данными для тектонически активных регионов. На этом рисунке представлены «Корреляции измеренных Vs30 (м/с) по отношению к топографическому склону (м/м) для активной тектонической области (Wald and Allen, 2007)». Цветные полигоны представляют собой Vs30 и диапазоны наклонов, соответствуют диапазонам и соответствуют легендам Vs30 геолого-топографической карты, а рекомендованные интервалы представлены в табл.1.

На рис. 8 приведена «Карта сейсмического микрорайонирования территории города Нарын (1976 г.) (8-а); а также «Карта вычисленной топографической кривизны по данным спутника srtm1 для г. Нарын и окружащей его территории» составленная с учетом вычисленных уклонов крутизны склонов в рельефе местности (8-б).

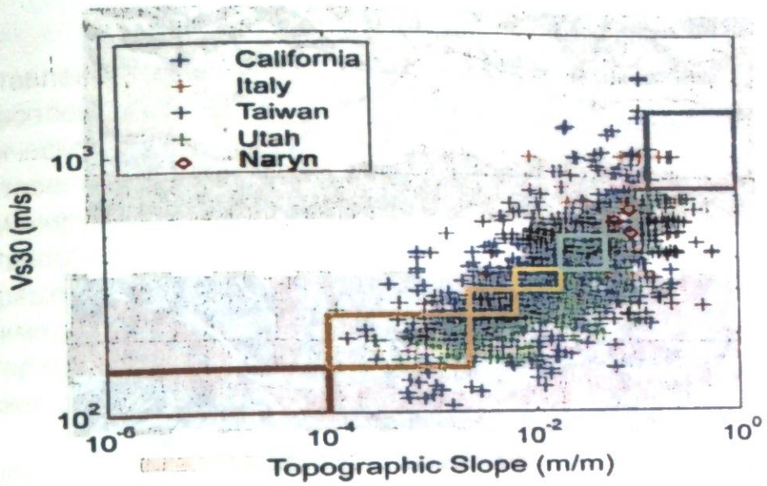


Рис. 7. Корреляции измеренных Vs30 (м/с) по отношению к топографическому склону (м/м) для активной тектонической области (Wald and Allen, 2007).

Цветные полигоны представляют собой Vs30 и диапазоны наклонов, соответствующие диапазонам, указанным в табл. 1, а также соответствуют легендам Vs30 для всех геолого-топографических карт в этой статье. Рекомендованные интервалы представлены в табл.1.

Таблица 1.

Интервалы величин Vs30 и наклонов местности для тектонически активных областей с молодым рельефом и для стабильных регионов.

Класс грунтов	Диапазон изменения Vs30	Величины наклона местности, тектонически активные области	Величины наклона местности, тектонически стабильные области
E	<180	<1.0E-4	<2.0E-5
	180-240	1.0E-4 – 2.2E-3	2.0E-5 - 2.0E-3
D	240-300	2.2E-3 – 6.3E-3	2.0E-3 - 4.0E-3
	300-360	6.3E-3 – 0.018	4.0E-3 - 7.2E-3
	360-490	0.018 – 0.050	7.2E-3 – 0.013
C	490-620	0.050 – 0.10	0.013 – 0.018
	620-760	0.10 – 0.138	0.018 – 0.025
B	>760	>0.138	>0.025

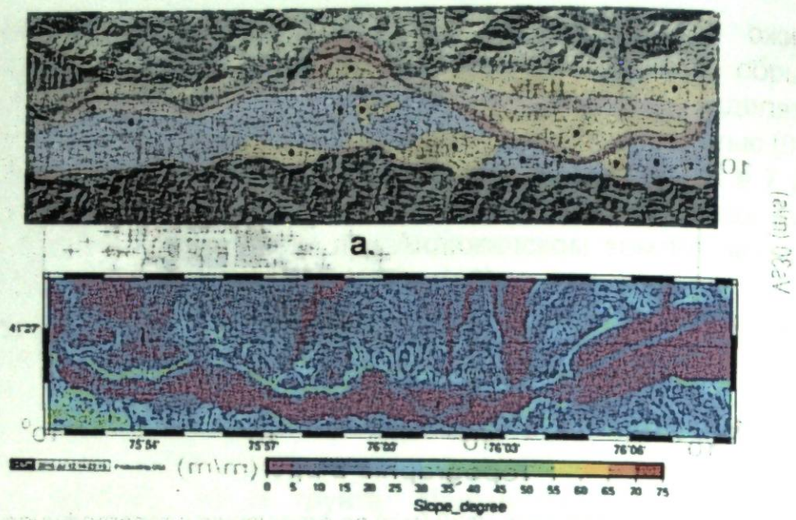


Рис. 8. Карта сейсмического микрорайонирования территории города Нарын (1976 г.) (а); Карта вычисленной топографической кривизны по данным спутника srtm1 для г. Нарын и окружащей территории.Из карт (Рис.6 – а, б) видно, что г. Нарын расположен в равнинной зоне с крутизной склона от 0 до 5 и редко местами на бровках речных террас имеет значения до 10-15 метра. При сравнении с картой 6-а, с 6-б, 8 балльные территории занимают большу часть площади г. Нарын, а 9 и более бальные участки по шкале карты 6-б четко прослеживаются.

На рисунке 9 приведена впервые составленная «Карта распределение Vs30 скорости по территории г. Нарын и окружающей территории» построенная на основе значений модельных наклонов местности. Полученные скоростные характерисктики предназначены для их использования в расчетах сейсмостойкого сторительства.

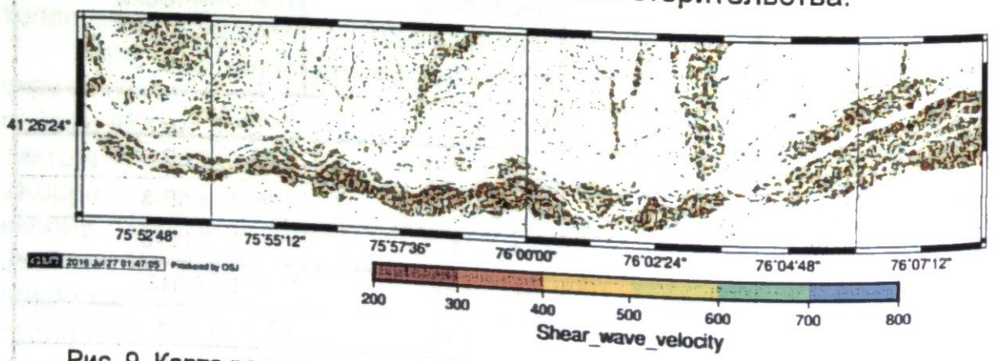


Рис. 9. Карта распределение Vs30 скорости по всей территории г. Нарын окружающей территории построенная на основе значений модельных наклонов местности.

Выводы

1. Составлены серии первых карт микрозонирования сайт-эффектов для густонаселенных городов Бишкек, Каракол, Нарын и составлена карта V_s сейсмической опасности для территории Кыргызстана.
2. Построены карты уязвимости зданий от сейсмокатастроф и создана функционирующая в реальном режиме времени система раннего оперативного оповещения населения от сильных землетрясений.
3. Впервые составлена карта V_s сейсмической опасности Кыргызстана, а на примере г. Нарын V_s 30 карта для использования скоростных характеристик в целях сейсмостойкого строительства и снижения георисков от землетрясений в Кыргызстане.

ЛИТЕРАТУРА

1. Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Ж., Мелешко А.В., Токмулин Ж.А., Абдыбачаев У.А. Жусупова К. (ЦАИИЗ), Dr. St. Parolai, A. Strollo. GFZ (Германия), Dr. D. Bindi, E. D'Alema, P. Auglie INGV (Италия). Сейсмическое микрорайонирование территории города Бишкек с учетом развития его до 2025 года. / В книге: Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики (издание 8-ое восьмое с дополнениями), Б.: МЧС КР, 2011, С. 675 – 679.
2. Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Ж., Усупаев Ш.Э., Раббаниев Ж. (ЦАИИЗ), Parolai S., Bindi D., Picozzi S.M., Pilz M. Parolai S. (GFZ), Камчибеков М.П., Камчибеков Ы.П. (Институт сейсмологии НАН КР). Мониторинг и предварительная оценка сайт-эффекта в целях сейсмического микрорайонирования для территории города Каракол. / В книге: Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории К Р (изд. 9-ое), Б.: МЧС КР, 2012. С. 424-429.
3. Орунбаев С.Ж., Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д. Карта сейсмо-сайт-эффектов г. Нарын и его агломераций. / В кн: Мониторинг и прогноз возможной активизации чрезвычайных ситуаций на территории Кыргызской Республики (изд. 12-ое). Б.: МЧС КР, 2015. С. 640 - 644.
4. Авдеев В. А., Зеленков П. Я.. Оценка устойчивости склонов в связи с сейсмичностью. (Институт земной коры СО АН СССР). АН Тадж ССР. Институт сейсмостойкого строительства и сейсмологии. / Сильные землетрясения Средней Азии и Казахстана. (Ежегодник 1. Материалы рабочего совещания по координации макросейсмических исследований). "Донниш". Душанбе-1970. С. 62-65.
5. Алказ В. Г. Научно методические основы прогноза сейсмической опасности и сейсмического риска территории республики Молдова. АН РМ.ГИН. Автореферат. Кишинев, 2006.
6. Мусаэлян А. А., Лаврусевич Л. В., Гельман Т. В. Влияние рельефа местности на интенсивность сейсмических колебаний. Институт сейсмостойкого строительства и сейсмологии. Тадж ССР. /Сильные землетрясения Средней Азии и Казахстана. (Ежегодник 1.

Материалы Рабочего совещания по координации макросейсмических исследований). Изд."Донниш" Душанбе-1970.
7. Попов Е.В. Изучение остаточных деформаций в лессовых грунтах при сильных землетрясениях как составная часть макросейсмических исследований. /Сильные землетрясения Средней Азии и Казахстана. (Ежегодник 1. Материалы Рабочего совещания по координации макросейсмических исследований). ТаджССР."Донниш" Душанбе-1970. С. 119-134.
8. Умаров А.А. Влияние крутизны склона на амплитуду колебаний грунта. (ИС АН УзССР)./ Опыт проведения СМР городских территорий. Тез докл. школы-семинара, Госстрой Каз ССР. А-Ата, 16-18 апреля 1984 г. С. 35-36.
9. Шмидт Г.А. Инженерно-геологические факторы образования сейсмодислокаций сильных землетрясений. /Сильные землетрясения Средней Азии и Казахстана. (Ежегодник 1. Материалы Рабочего совещания по координации макросейсмических исследований). ТаджССР "Донниш" Душанбе-1970. С. 82-84.
10. Орунбаев С.Ж., Усупаев Ш.Э., Мамбеталиев Э., Коноков Т., Серенков А. Новые полевые измерения для сейсмического микрорайонирования города Нарын./В кн. Мониторинг и прогноз возможной активизации чрезвычайных ситуаций на территории КР (изд.11). Б.: МЧС КР, 2014.с.645 - 648.
11. S. Parolai, S. Orunbaev, D. Bindi,* A. Strollo,† S. Usupaev, M. Picozzi, D. Di Giacomo,† P. Augliera, E. D'Alema, C. Milkereit, B. Moldobekov, and J. Zschau. Site Effects Assessment in Bishkek (Kyrgyzstan) Using Earthquake and Noise Recording Data Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 100, No. 6, pp. 3068–3082, December 2010, doi: 10.1785/0120100044
12. Shuttle Radar Topography Mission http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/
13. Shuttle Radar Topography Mission http://en.wikipedia.org/wiki/Shuttle_Radar_Topography_Mission
14. Описание и получение данных SRTM http://gis-lab.info/qa/srtm.html
15. SRTM 90m Digital Elevation Data http://srtm.csi.cgiar.org/
16. Данные SRTM, версия 1 http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version1/
17. Данные SRTM, версия 2 http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/
18. Разграфка фрагментов данных SRTM http://gis-lab.info/data/srtm-tif/srtm-5dg-grid.7z
19. EarthExplorer http://edcsns17.cr.usgs.gov/NewEarthExplorer/
20. Импорт данных SRTM с помощью Arcinfo Workstation http://gis-lab.info/qa/srtm-ai.html
21. Документация по данным SRTM ftp://ecs.nasa.gov/srtm/Documentation/SRTM_Topo.pdf
22. Importing Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) elevation data http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/landserf/landserf230/doc/howto/srtm.html
23. Wald, D.J., and Allen, T.I., 2007, Topographic slope as a proxy for seismic site conditions and amplification: Bull. Seism. Soc. Am., v. 97, no. 5, p. 1379–1395.

УДК –551.1 : 551.4; 50.3; 574; 624:131

О ЕДИНОЙ ТЕОРИИ НИГ ПОЛЯ ПАЛЕО-ПРОЧНОСТИ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ И ЗЕМЛИ

Ш.Э. Усупаев
Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли,
Кыргызская Республика, г. Бишкек

В статье обоснована Единая ноосферно-инженерно-геономическая Теория Земли. От Мироздания до звезд их скоплений, планет и их спутников небесные тела изначально приобрели свои объемы и массы в результате проявления и воздействия гравитирующих вихревых сгустков и струн создающих поля палео-прочности материи ($P_{п-п}$). Солнце, планеты и их спутники слеплены и сотканы ударными столкновениями (УС) с подобными небесными телами, с рубежами времени, дления, трансформации, разрушения и перерождений их в $P_{п-п}$. На границах от Конрада до Мохо, вследствие глубинных вертикальных фазовых переходов воды (жидкость–пар) функционируют термальные подземно-денудирующие флюидные дренажные оболочки (ДО), которые по законам изостазии, трансформируют $P_{п-п}$ и регулирует обмен масс вещества между недрами континентов и океанов. УС взрывными катастрофическими, скачкообразными остаточными напряжениями, вызывают георискы трансформирующие $P_{п-п}$ планетосфер Земли и небесных тел. УС небесных тел приводят к росту их объема и массы, увеличению количества твердых ядер внутри небесного тела и их орбитального вращения, перескакиванию планет на новую орбиту, запылению космоса и оледенениям, всемирным потопам. УС и ДО в $P_{п-п}$ создают механизмы образования гранитов и базальтов, экзо-и эндотектоники, геомагнетизма, формирования нефтегазоруд и генезиса жизни.

Ключевые слова: ноосферная инженерная геономия, георискы, планетосферы, дренажная оболочка, землетрясения, ударные столкновения, небесные тела, грави-инертность, скачкообразные остаточные напряжения, поле палео-прочности.

АСМАН ТЕЛОЛОРУНУН ЖАНА ЖЕРДИН ПАЛЕО-БЕКЕМДИГИНИН НИГ ТАЛААСЫНЫН БИРДИКТҮҮ ТЕОРИЯСЫ ЖӨНҮНДӨ

Ш.Э. Усупаев

Жерди прикладдык изилдөөлөрдүн Борбор –Азиялык институту, Кыргыз Республикасы, Бишкек ш.

Макалада жердин Бирдиктүү ноосфералык-геономиялык сторияны негизделген. Дүйнө, жылдыздар жана алардын топтомдору, планеталар жана алардын жандоочтору жаралгандан тартып гравитацияланып жүрүүчү куюндардын жана материянын палео-бекемдигин ($P_{п-п}$) түзүүчү кылдардын таасири менен асман телолорунун алгачкы көлөмдөрү жана салмактары пайда боло баштаган. Мындай асман телолорунун катуу кыгылышууларынан (КК) улам убакыт чегинде бөлүнүүдөн, трансформацияланууудан, бузулуудан жана алардын $P_{п-п}$ кайра жаралуусунан күн, планеталар жана алардын жандоочтору жаралган. Конраддан баштап Мохого чейинки чектерде суунун терең деги вертикалдуу фазалуу өзгөрүүлөрүнүн (суюктук-буу) натыйжасында термалдуу жер алдындагы-ташыгыч флюид дренаж каптамдары (ДК) иштеп турат, алар изостазия мыйзамдары боюнча $P_{п-п}$ трансформациялайт жана континеттер менен океандардын ортосундагы заттардын массаларынын алмашуусун жөнгө салып турат. КК жардыруучу катастрофалык, кескин өзгөрүлмө калдык чыңалуулар менен Жердин жана асман телолорунун планетосфераларынын $P_{п-п}$ трансформациялоочу геотобокелчиликтерин пайда кылышат. Асман телолорунун КК алардын көлөмүнүн жана салмагынын өсүшүнө, асман телосунун ичиндеги катуу өзөктөрдүн жана алардын орбитадагы айлануусунун көбөйүшүнө, планеталардын башка орбитага секирип кетишине, космостун чаңдашына жана муз каптоолорго, дүйнөлүк суу каптоолорго алып келет. $P_{п-п}$ дагы КК жана ДК граниттердин жана базальттардын, экзо-жана эндотектониканын, геомагнетизмдин пайда болуу, мунайгаз, рудалардын жана жашоо генезисинин калыптануу механизмдерин жаратат.

Өзөктүк сөздөр: ноосфералык-геономиялык теория, геотобокелчиликтер, планета-катмарлары, дренаж каптамдары, жер титирөө, катуу кыгылышуулар, асман телолору, грави-инерциялуулук, палео-бекемдигинин талаасы, кескин өзгөрүлмө калдык чыңалуулар

ABOUT A UNIFIED THEORY OF NEG FIELD OF PALEO-STRENGTH OF CELESTIAL BODIES AND THE EARTH

Sh.E. Usupaev

Central-Asian institute of applied researches of the Earth, Kirghiz Republic, Bishkek

The article substantiates the Unified noospheric engineering geonomic theory of the Earth. From the Universe to the stars of their clusters, planets and their satellites, celestial bodies initially acquired their volumes and masses as a result of the manifestation and influence of the gravitational vortex clots and strings creating the field of paleo-strength of matter (Fp-s). The sun, planets and their satellites are stuck together and woven by shock collisions (SC) with similar celestial bodies, with the boundaries of time, of their transformation, destruction and rebirth in Fp-s. On the borders from Conrad to Moho, due to the deep vertical phase transitions of water (liquid–vapor), there are thermal underground-denudating fluid drainage shells (DS), which, according to the laws of isostasis, transform Pp-s and regulate the exchange of mass of matter between the depths of continents and oceans. SC explosive catastrophic, spasmodic residual stresses that cause geological hazard transforming Fp-s of spheres of planets of the Earth and celestial bodies. SC of celestial bodies leads to an increase in their volume and mass, an increase in the number of solid nuclei inside the celestial body and their orbital rotation, the leap of planets into a new orbit, the dusting of space and glaciation, the world floods. SC and DS in Fp-s create mechanisms of formation of granites and basalts, exo - and endotectonics of geomagnetism, formation of oil and gas resources and genesis of life.

Key words: noospheric engineering geonomy, georisk, planetosphere, drainage shell, earthquakes, impact collisions, celestial bodies, gravity inertia, spasmodic residual stresses, field of paleo-strength.

Введение.

Единая ноосферная инженерная геономия теории Земли (ЕНИГТЗ), усовершенствует ОТЗ - Общую теорию Земли, которая представлена достижениями наук о Земле: 1. пангеология; 2. геогнозия; 3. землеведение, 4. метагеология; 5. геономия [1-24].

ЕНИГТЗ - изучает закономерности причинно-следственной природы генезиса небесных тел на примере Солнца, системы планет и Геоида как многокомпонентных динамических трансформируемых в поле палео-прочности изменяющихся круговоротами полигрунтов грави-инертных образований Мироздания, в целях снижения георисков и обеспечения поли-безопасности человека [1-24].

Академик Сергеев Е.М и Друян В.А. (1986) приземное пространство верхних горизонтов литосферы, где господствует человек перестраивая природную среду соответственно своим потребностям, относят к основанию фундамента части сферы разума. Междисциплинарная наука инженерная геология окружающей среды, является геологией ноосферы – сферы разума [1].

Основы выше приведенной компоненты ЕНИГТЗ изложены в инженерно-геологическом, эколого-геологическом и геоэкологическом аспектах в трудах Сергеева Е.М., Осипова В.И., Трофимова В.Т. [1-3].

В ЕНИГТЗ природа времени и пространства требую обоснования. Время по Лейбницу Г.- порядок событий, а пространство порядок тел (1990). По Фридману А.А. (1990) время есть совокупность вещей, называемых моментами и состоящих в определенных отношениях между собой и трехмерным пространством. Пространство с совокупностью объектов, объединенных единой системой взаимодействия сосуществует с временем [4].

По определению автора, время есть закон рубежей проявлений движений в пространстве, выполняет роль функции появления и исчезновения моментов делений и полей палео-прочности материи.

Теория ЕНИГТЗ должна быть согласована с теорией науки об эволюции и размерах Вселенной, т.е. космологией, где известны число барионов A= 10^{80}, масса Мироздания M=2 10^{56} г, число звезд в Мире $N_0=10^{23}$, радиус Мира R=10^{27} см. При этом в космологии отсутствуют единые подходы в оценке прочности материи от элементарных частиц, слагаемых ими небесных тел, галлактик и Мироздания в целом.

Решение проблемы пространства и времени по Кадырову С. (1996) создавшего Единую Теорию поля (ЕТП) зависит от решения проблемы космологии. В мире существует вещество и физические поля. Наша планета и Солнечная система есть часть Мироздания, т.е. законы природы едины. В космологическом и микро масштабах по ЕТП природа физических полей едина и векторна, геометрия космоса евклидова, пространство трехмерно и абсолютно. Заряд есть единое, целое, полное, замкнутое образование полей. Гравитация управляет всем Миром, в т.ч. биополем создающим потоки импульсов фотонов. Антигравитация для позитрона и электрона, указывают на наличие поля сил инерции, т.е. ускорение свободного падения силы тяжести зависит от химического состава падающих тел. Массы электрона и протона гравитационного генезиса, и являются сгустками полей, спины которых связаны со структурой поля дискретно. Протон есть источник 3-ех полей: гравитационного, ядерного и электрического. Все силы обладают свойствами насыщенности. Взаимодействие реализуется только через поле. Масса частиц есть сгусток поля. Инерция есть самоиндукция, с ростом скорости тел, инерциальность увеличивается. Оси небесных тел в.т. Солнца и планет совершают прецессии, т.е. проявляются как гироскопы, где силы инерции и магнитных сил едины. Движущееся тело наряду с полем Ньютона имеет вихревое поле с инертной массой [5].

Используя достижения ЕТП Кадырова С. (1996) мной вводится понятие поля палео-прочности ($P_{п-п}$) для оценки устойчивости, податливости, деформационных, трансформационных свойств небесных тел Мироздания и его субчастей [5].

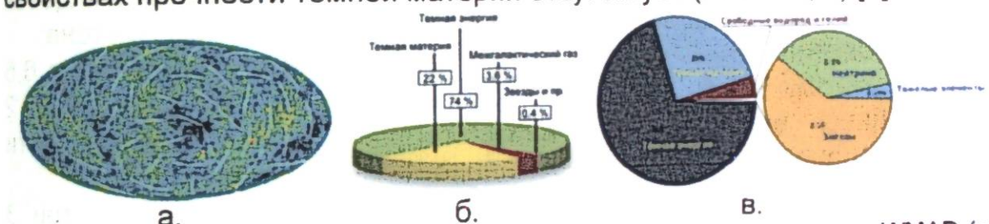
$P_{п-п}$ есть проявившиеся в пространстве и времени сгустки поля в виде вещества обладающего прочностными и деформационными

свойствами, напряженным состоянием возникшим с рубежа появления на свет данного конкретного объекта.

В 2001 году был запущен аппарат WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), а к 2003 году построена детальная карта распределения интенсивности реликтового излучения по небесной сфере Мироздания (Рис. 1 а) [7].

Из объемной карты Вселенной видно, что в целом и ее субчасти проявлены полями палео-прочности вещества материи, которые удерживают материю динамическими силами грави–инертного, ядерного и электро-магнитного характера, однако данные о прочности Мироздания отсутствуют (Рис. 1 а) [7 - 10].

ΛCDM («Лямбда-СиДиЭм»)— от Lambda-Cold Dark Matter, в современной стандартной космологической модели, пространственно-плоская Вселенная заполнена наряду с барионной материи, тёмной энергией и холодной тёмной материей и возраст Вселенной равен 13,75±0,11 млрд. лет, при этом информация о составе, строении, свойствах прочности темной материи отсутствует (Рис. 1 б, в) [7].



а. б. в.

Рис.1. Карта поляризации реликтового излучения Вселенной по данным WMAP (а); Состав Вселенной образующей поля палео-прочности материи (б, в).

$P_{п-п}$ сопряжена с рубежами времени зарождения, развития и разрушений в виде эволюционной и катастрофической УС взрывной трансформации небесных тел [8-10].

Во Вселенной растет влияние антигравитационного влияния темной энергии, плотность которой не изменяется со временем, а гравитирующей материи падает по мере расширения Космоса [7-10].

Результаты исследований. По данным ЕНИГТЗ, ($P_{п-п}$) есть фундаментальное свойство материи. Солнце, планеты, спутники есть полигенные смеси вещества от ударных столкновений (УС) небесных тел, являются гибридными образованиями [8-11].

Солнце сохранила следы по возрасту углистых хондритов 4 рубежа нуклеосинтеза от УС приведших к трансформации $P_{п-п}$ имеет внутри 4 твердых ядер вращающиеся вокруг центрального ядра и состоит из гибрида смеси различных палео-звезд.

По Озима М. (1983) основной процесс нуклеосинтеза элементов основываясь на отношениях изотопов урана-238 и урана 235, тория -232 и тория 238, йода-129, аллюминия-26, плутония-244 и других элементов продолжался около 10 млрд лет. По астрофизическим оценкам процесс

нуклеосинтеза, т.е. образования химических элементов в Галлактике имеет возраст 9-14 млрд. лет [13].

Солнце представлено 4-мя рубежами формирования палео-прочности и 5-ью соединениями различных палео-звезд. Светило внутри имеет вращающееся твердое ядро окруженное 4-мя меньшими ядрами от ударно столкнувшихся палео-звезд. Ударное столкновение протоСолнца с подобными звездами произошло (10,6; 9,5; 6,6 и 4,65) млрд. лет тому назад.

На рисунке 1 представлена «Ноосферно инженерно-геономическая шкала рубежей времени ударного столкновения и образования Солнца и ее планетарной системы», где [8-12]:

А. график последовательности нуклеосинтеза, где:

I- наше Светило до рубежа первого ударного столкновения 10,6 млрд. лет, было звездой-красным карликом с одним центральным твердым ядром, а объединением 2 звездных тел стало 2-ух ядерной;

II –до рубежа 2-го ударного столкновения 9,5 млрд. лет наше Светило имело 2 твердых ядра, центральное и второе вращающееся вокруг и являлась звездой белым карликом, с образованием Плутона;

III –Светило наше в результате 3-ьего ударного столкновения 6,5 млрд. лет тому назад имела 3 ядра внутри, одно центральное и 2 вращающиеся вокруг и была звездой главной последовательности (созданы планеты-гиганты на месте планет земной группы),

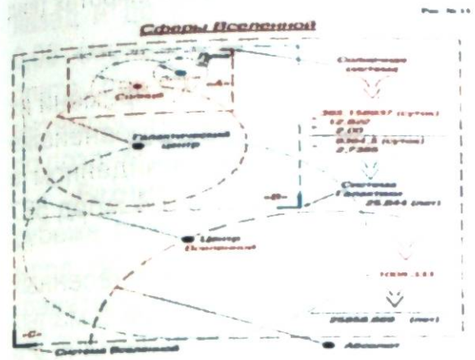
IV – Светило имело в течение 6,6 до 4,65 млрд. лет внутри 3 твердых ядра и представляло собой нейтронную звезду-пульсар,

V –четвертое столкновение светила с подобной звездой, произошло 4,65 млрд. лет тому назад, что привело к сформированию остальных планет и большинства химических элементов и Солнце стало звездой главной последовательности по диаграмме Герцшпрунга-Рессела [7-12].

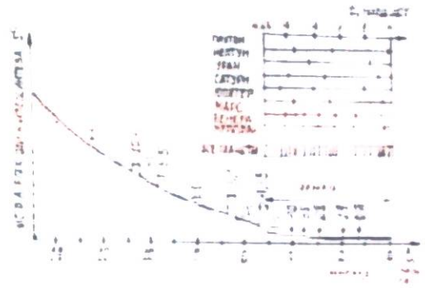
На рис. 2-б в верхней части графика приведены уточняющие геохронологическую шкалу времени рубежи ударного столкновения при образовании планет гигантов и земной группы.

Линиями внутри прямоугольника показаны рубежи времени столкновения планет гигантов и земной группы, которые влияют на формирование кризисов жизни на Земле. Ниже стрелками показаны рубежи ударного образования Земли.

Исследования Ларина В. Н. (1980) позволили создать концепцию изначально гидридной Земли, где планеты рождены из газо-пылевых туманностей в сферах влияния центров галактик и звездных систем по законам магнитной сепарации и гравитационного их удерживания вокруг центров-ядер притяжения [15].



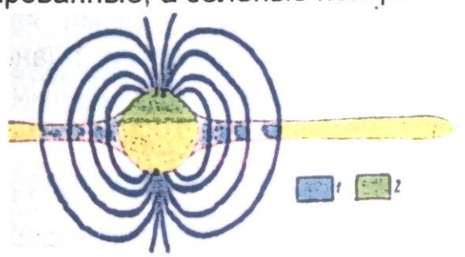
а.



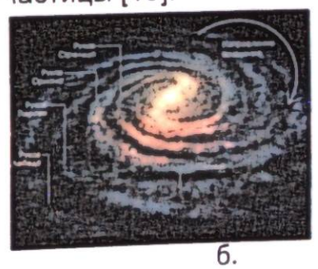
б.

Рис. 2. Ноосферно инженерно-геономическая шкала рубежей формирования палео-прочности небесных тел на примере ударных столкновений Солнца и ее планетарной системы.

Процесс магнитной сепарации ионизированных элементов вокруг Солнца сформировал планеты земной группы, а удаленные планеты гиганты образованы из нейтральных частиц. На рис. 3- а приведена модель магнитной сепарации вещества в протопланетном диске Протосолнца. Синие линии силовые линии магнитного поля, голубые ионизированные, а зеленые нейтральные частицы [15].



а.



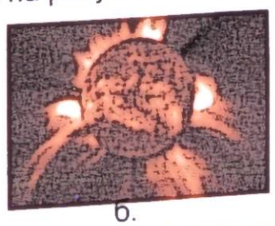
б.

Рис. 3. Модель магнитной сепарации вещества в протопланетном диске.

Расположение орбиты Солнца и ее планетарной системы в поле пале-прочности в спиральном рукаве вращающейся вокруг черной дыры и ядра Галлактики приведена на рисунке 3- б [7,10].



а.



б.



в.

Рис. 4. Условия орбитального полета гибридной Солнечной системы в поле палео-прочности небесных тел с 6-тью гелио-волнами в течение 1-го галлактического года

вокруг центра Млечного пути (а); Солнце состоящее из 5 ядер с центральным совершающим 1 оборот за 14 дней и 4-ех в виде плазменных шаров вращающихся со скоростью 28 дней вблизи экватора на низких широтах (б); в). широты расположения 4-ех малых ядер Солнца, просвечивающихся на низких широтах (вид с космического аппарата SOHO) [7,10].

Поле палео-прочности $P_{п-п}$ небесных тел имеет рубежи времени их формирования, дления, трансформации и разрушения. Древнейшие породы на Земле в хондритовом метеорите Ефремовка найденном в 1962 году в Павлодарской области Казахстана определено в 4 млрд 567 млн лет [10, 16].

Земля сохранила следы 5 рубежей УС и есть смесь привнесенных инопланетными небесными телами поли - грунтов имеет внутри 5 малых твердых ядер вокруг центрального ядра, последнее вращается по оси и собственной орбите под углом 45 град к Солнцу и трансформирует $P_{п-п}$ Земли геодеформациями сейсмо-геодинамического, электромагнитного и грави-инертного характера.

На границах от Конрада до Мохо в подошве литосферы функционируют дренажные оболочки (ДО) Земли по механизму круговорота компонент поли-грунтов и закону изостазии образут ювенильные воды, нефтегазоруды [8-12].

Шкала времени ЕТНИГЗ состоит по Ачкасову П.В (2006) из наиболее крупных подразделений ЭОНОВ представленных 3-мя категориями А – безжизненным, б- скрытой жизни, В- открытой жизни. Эоны подразделены на ЭРЫ рубежами между которыми являются времена столкновений Земли с подобными небесными планетными телами. Эра, перед первым столкновением Земли с небесным телом называется катархеем, а остальные эры связаны тесно с ударными столкновениями и названы именами планетоблем: а. **Бразильская** от 4 до 3,5 млрд. лет тому назад (архей I), б. **Канадская** от 3,5 до 2,8 млрд. лет (архей II), в. **Арктическая** - от 2,8 до 1,9 млрд. лет (афебий)), г. **Тетис** от 1,9 до 0, 67 млрд. лет. (рифей) д. **Тихоокеанская** от 0,67 млрд. лет до 0 млрд. лет (венд-фанерозой).

Каждая эра начинается с ударного столкновения Земли с подобным небесным телом., что является рубежом новых тектонических и стратиграфических перестроек [10 - 12].

Небесные тела при резонансном сближении двух орбит и ударном их катастрофическом объединении трансформируя поле палео-прочности скачкообразно перескакивают возмущая грави-инертно планетарную систему избирательно на новую внешнюю или внутреннюю орбиту в сторону падающей планеты.

До 1-го ударного столкновения с подобным небесным телом 4 млрд. лет тому назад, от падения астероидов, тектоника и поверхность Земли была подобна лунно-меркурианской и имела кольцевые структуры, кратеры, мульды и нуклеары [10 - 12].

Первое ударное столкновение (УС) Земли с массой 0,04 с **Бразильским** небесным телом с расширением, трещинами в литосфере и дайковым магматизмом произошло в раннем архее 4 млрд. лет тому назад и до рубежа времени 3,5 млрд. лет масса геоида-1 составляло 0,08 (меньше Марса). Единая континентальная раннедокембрийская плита по палеомагнитным данным, протерозойским магматическим, метаморфическим, осадочным породам всей Земли до 1,9 млрд. лет, т.е до позднего докембрия сохранила свою целостность [10 - 12].

Второе УС геоида-1 с **Канадской** планетоблемой привело на рубеже поздний архей 3,5 млрд. до 2,8 млрд. лет (с длительностью 0,7 млрд. лет) к расширению материкового полушария и из пород мантии на гранитоидных поверхностях появились узкие параллельные системы зеленокаменных поясов. Масса геоида-2 скачкообразно выросла до 0,15 (т.е. в 1,5 раза больше массы Марса) [10 - 12]..

Третье УС геоида-2 с **Арктической** планетоблемой произошло в раннем протерозое 2.8 млрд. лет тому назад и длилось до 1,9 млрд. лет, с скачкообразным ростом массы до 0, 30 и объема геоида-3 ,с образованием складчатости, магматизма, метаморфизма. Столкновение Земли с планетой Арктической привело к формированию первого великого станового горообразования, и «первого гранита». При столкновении древней Земли с планетой Тетис, сформировался «второй гранит» [10 - 12].

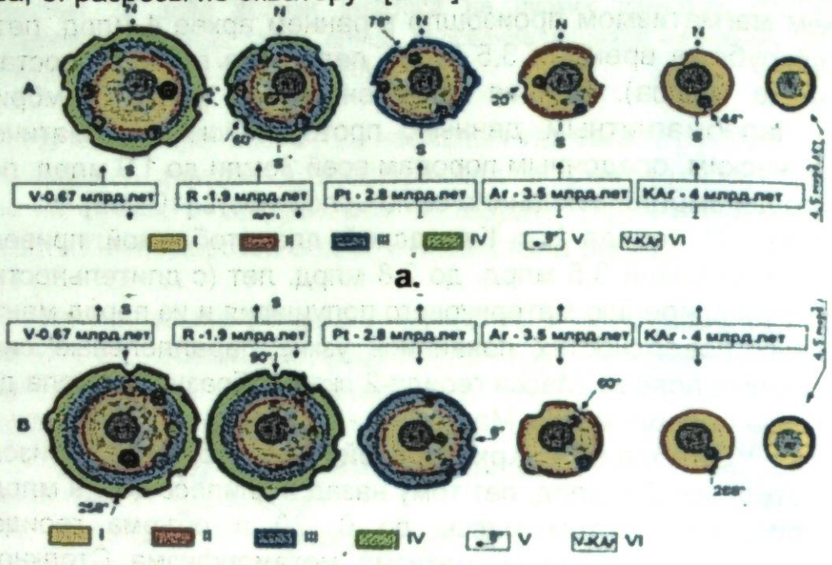
Четвертое УС с небесным телом **Тетис** имеет рубеж времени от 1,9 млрд. лет и консолидации вещества сфер до 0,67 млрд лет с ростом массы геоида-4 до 0,61 [10 - 12]..

Пятое УС с Тихоокеанской планетоблемой произошло 0, 67 млрд. лет тому назад и консолидация протекает до сих пор. Рост массы геоида-5 составила до 1,0 [10 - 12].

Сейсмосфера сопряжена с тектоносферой планеты и проявляют: 1. неглубоко- фокусные зелетрясения с гипоцентрами до 70 км. в кровле литосферы; 2. с промежуточными фокусами (астеносферные) с гипоцентрами от 70 до 300 км.; 3. глубокофокусные (мантийные) с гипоцентрами более 300 км. В мантии глубже 720 км. гипоцентры землетрясений не зафиксированы. При этом до 70 % землетрясений имеют гипоцентры глубиной очага до 60 км, а 30% до 700 км. При высоких температур и давлений 10^{10} Па при атомарных соотношений Н/Ме до единицы, металлы в недрах Земли аномально сжимаются в объеме от 23 до 80 раз, из-за ионизированного водорода в виде голого протона размером 10^{-13} см., что в 100 тыс. раз меньше атомов металлов и проникает глубоко в электронные оболочки, уменьшает радиус их атомов и уплотняет вещество [15].

Основы генезиса небесных тел представлены в трудах Ачкасова П. В. и на рисунке 5 приведена составленная автором «ИГН история образования в поле палео-прочности механизмом катастрофических

ударных столкновений полиядерной гибридной Земли: а. разрезы через полюса, б. разрезы по экватору» [8-12].



а.

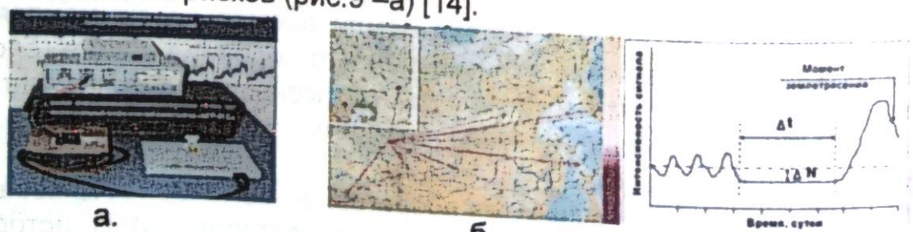
б.

Рис.5. ИГН история образования в поле палео-прочности механизмом катастрофических ударных столкновений полиядерной гибридной Земли: а. разрезы через полюса, б. разрезы по экватору

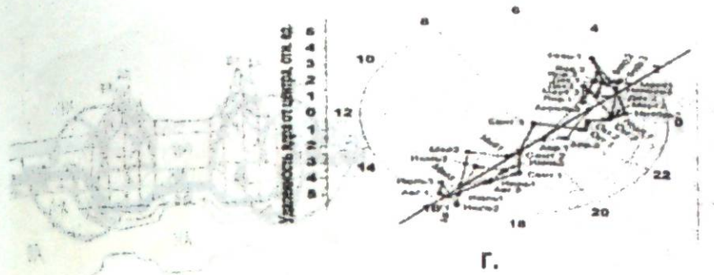
По Семененко Н.П. (1983) в кислородно-водородной модели Земли кислородная оболочка, облекает протопланетное вещество из водородных соединений элементов-гидридов, а плотность гидридов больше чем у металлов. На глубине 700 км. трансформация флюидов приводит к взрывным эффектам и землетрясениям [16].

В моделях Ежова Б. В. (1986), Худякова Г. И. (1974) и др. от поверхности до центра Земли высекаются радиусами от десятков до тысяч километров радиально-концентрические построенные как матрешка морфоструктуры центрального типа (МЦТ) [17].

По сети мониторинга МГР 01 С твердое ядро Геоида вращаясь по собственной орбите в декабре месяце поднимается в северное, а в июле месяце опускается в южное полушария планеты, вызывая ритмичность и сезонность в формировании землетрясеинй, дегазации, дефлюдизации недр и реализации остаточных напряжений и проявления георисков (рис.9 –а) [14].



а. б. в



г.

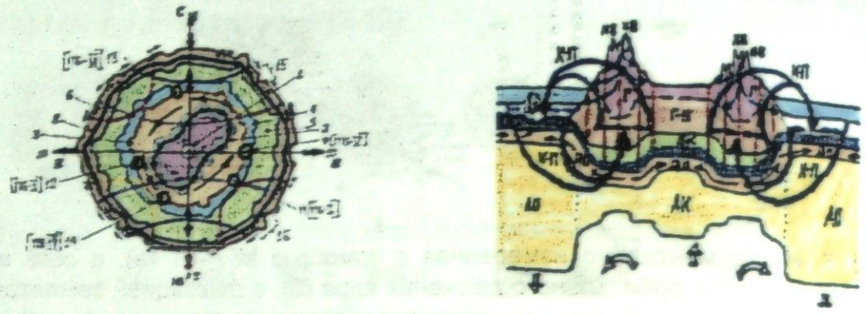
Рис. 6. Инструментально измеренная с помощью МГР-01 (а), и сети мониторинга землетрясений и орбитального движения ядра (б), с фиксацией землетрясений (в) и измерения трассы орбитального ежегодного движения твердого центрального ядра в жидкой планетосфере внутри Земли по углом 45 град к Солнцу (г).

На (рис.7-б), приведен механизм ДО-дренажной оболочки глубинного литосферного круговорота компонент поли-грунтов, где главным агентом является вода и подземные ее круговороты. На материках мощность **ДО** варьирует 5-10 км., под горными областями от 15 и более км., под океанами 3 км. Гидростатическое давление **ДО** кровли литосферы на дне океана достигает 1 тыс. атм., а на континенте при мощности земной коры 30-60 км возрастает до 3-6 тыс. атм. Пористость изменяется от 5% до 10% и более [10, 18].

Ежегодно в **ДО** Земли проникает до 150 км^3 атмосферных вод, в виде 4-5 % раствора, этот флюидный поток выносит из коры материков до 2,5 км^3 (5-6 млрд. т.) твердого вещества. В литосфере **ДО** способна создать геофильтрационную среду из пор, трещин и псевдо-карстовых пустот захлопывание которых создают каскадные землетрясения. В подошве литосферы располагается астеносфера прочность вещества которой содержащей 10-15% ювенильной воды равна 2 Мпа (20 кг/см^2) (Рис. 7 а, б) [10, 18].

На рис.7-а: 1. геометрический центр Земли; 2. трасса орбитального движения твердого ядра имеет форму 8, а стрелки направления вращения; 3.жидкое ядо Земли; 4.нижняя мантия; 5. средняя мантия; 6.верхняя мантия; 7. твердое ядро инопланетнного тела (ПБ – V); 8. **ДО** – дренажная оболочка; 9. ИГН ось вращения Земли; 10. Экваториальная плоскость; 11. твердое ядро инопланетное (ПБ – I); 12. (ПБ – II); 13. (ПБ – III); 14. (ПБ – IV); 15. критические широты сжатия; 16. критические широты растяжения;

На рис. 7-б: стрелки внизу рисунка направления конвекции мантии; АО–астеносфера океаническая; АК – астеносфера континентальная; К-П круговорот поли-грунтов между литосферами континента и океана; ДО – доенажная оболочка; БК- базальт континентальный; серый цвет под глубой водой океана – базальт океанический; Г-Б гранито-базальт; Г – гранит; СОХ – срединно-океанических хребет; синие стрелки – жидкая вода пронизывающая земную кору; красный цвет линии- разломы глубинные; вергентные геоволновые структуры и движения (МВ-моновергентные, КВ –конверегнтные, ДВ – дивергентные).



а б

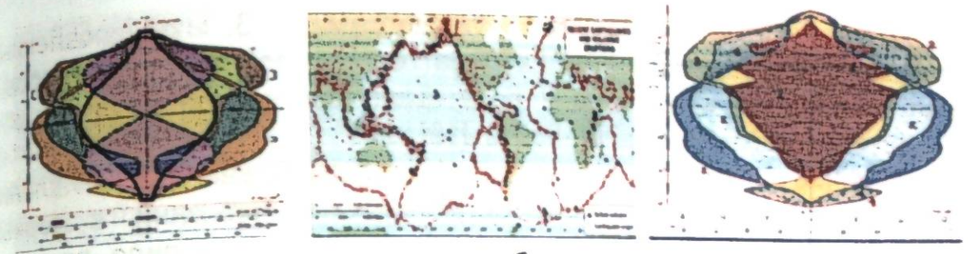
Рис. 7. ИГН модели трансформации поля палео-прочности орбитальным вращением близ центрального твердого ядра (а) с грави-инертными объемными динамическими геодеформациями планетосфер и дренажной оболочки (ДО) и, механизм круговорота компонент полигрунтов между поверхностью и недрами континентов и океанов по механизму ДО образующей воду и нефтегазоруды (б).

На рисунке 8 представлена составленная ИГН карта Геоида с выделенными эпицентрами ударных столкновений с планетоблемами и закрашенными в черный цвет районами высокой концентрации полезных ископаемых на Земле. Из данной карты видно, что месторождения коррелируют с глобальными и региональными кольцами сейсмичности и границами литосферных плит.



Рис. 8. ИГН карта Геоида с выделенными эпицентрами ударных столкновений с планетоблемами и районами высокой концентрации полезных ископаемых на Земле

ИГН модель показывает что поле палео-прочности Земли состоит из следующих составляющих грави-инертной природы: 1. геонома горизонтального распределения компоненты гравитации описывающего северо- и южно полушарные зоны Земли 2. максимальными их пиками на 35 град с.ш. и ю.ш.; 2. геономом вертикальной компоненты гравитации имеющей максимальный пик на экваторе планеты и связывающий силы горизонтальных 2-ух пиков поля палео-прочности Земли (Рис.9 – а).



а. б в

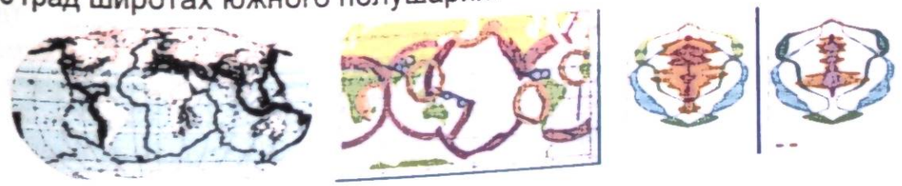
Рис. 9. ИГН базовая модель латерального по-широтного преобразования карт считающихся конечным продуктом исследований в новые информационные геономы закономерностей распределения и прогноза изменений природной среды (а); Карта распределения землетрясений и вулканов (б) и ИГН модель по-широтной закономерности распределения геономов вулканичности трансформирующей поле палео-прочности Земли (в).

Из карты (Рис.9-б) распределения землетрясений и вулканов, преобразованием составлена ИГН модель по-широтной закономерности распределения геономов вулканичности трансформирующей поле палео-прочности Земли.

Из ИГН модели видны 3 максимальных пика геонома вулканичности с уменьшением их интенсивности на 15 град, 35 град и 53 град с.ш. что связано с трансформацией палео-прочности Земли с элементами формирования и разгрузки остаточных напряжений, что в конечном счете ведет к росту Суши планеты в Северном полушарии.

На ИГН моделях закономерности по широтного распределения землетрясений максимальные пики геономов территориальные глубокофокусных событий имеют 5 пиков (2 в южном, 3 в северном полушариях), а также акваториальные 7 пиков (2 в южном, 5 в северном полушариях). (Рис.10 в)

Выше приведенные землетрясения трансформируют поля палео-прочности в пределах сейсмосферы с максимумом разупрочнения верхней мантии и подошвы океанической литосферы в низких от 7 град, до 18 град широтах южного полушария.



а. б в

Рис. 10. Карта эпицентров землетрясений за период с 1963 по 1998 гг по J. M. Shultz, Z. Espinel, S. Galea, D. B. Reissman (а); карта кольцевой сейсмической активности Земли (б); в. преобразованные указанные карты в ИГН модели распределения землетрясений Мира (в).

Исследованиями Айтматова И.Т. и др.(1987 г.) для горных стран в массивах горных пород выделены горизонтальные напряжения: 1. унаследованные от древних орогенических движений; 2. созданные

современными тектоническими процессами; 3. обусловленные действием веса горных пород. Глубина тектонических горных ударов в горно-складчатых областях в 2 раза выше чем на древних щитах и варьирует от 450-500 м до 750-850 м. [19].

Научное открытие Айтматова И.Т., Тажибаева К.Т. «Явление скачкообразного освобождения остаточных напряжений в горных породах» (Диплом № 90, Москва.1998 г.) [25], позволило раскрыть причинно-следственную связь тектонических горных ударов с остаточными напряжениями.

Впоследствии Тажибаевым К.Т. была обоснована концепция стационарных деформаций литосферных плит в пределах вытянутых зон развития андезитового и базальтового магматизма по всей планете, где распалогаются очаги тектонических землетрясений, и где самопроизвольно, медленно, длительно, стационарно происходит разгрузка (уменьшение, релаксация) генетических остаточных напряжений в виде деформации сжатия или растяжения вдоль границ литосферных плит [26,20].

В результате экспериментальных исследований остаточных напряжений Тажибаевым К.Т., Тажибаевым Д.К., Акматалиевой М.С. установлена «Закономерность изменения относительной величины скорости прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны от механического напряжения в твердых материалах (Закон Кушбакали)» (Диплом № 453 на научное открытие от 3 октября 2013 года, г. Москва) [27]. На основе этой закономерности разработан приципиально новый метод определения действующих и остаточных напряжений в горных породах [21], что открывает новые возможности выявления удароопасных и сейсмоопасных зон массива горных пород.

Таким образом, можно отметить, что особенности проявления поля палео-прочности материи, позволяют в первом приближении с позиций Единой теории поля, инженерной геономии и закона изостазии определять рубежи времени ударного столкновения небесных тел, с катастрофической грави-инертной трансформацией георисками и скачкообразными разгрузками остаточных напряжений в небесных телах [5, 10, 22, 23].

Выводы

1. Небесные тела с их объемами и массами есть проявления поля палео-прочности материи. Природа остаточных напряжений провоцирующих горные удары в шахтах и землетрясения связана с трансформируемыми георисками полями палео-прочности Геоида.

2 Ежегодные орбитальные вращения вокруг геометрического центра твердого ядра Земли создают георискы, сопряженные с грави-инертными выходящими на поверхность объемными периодическими бегущими волнами геодеформаций.

3.Эффекты критических фазовых взаимопереходов флюидообразующей воды в глубинной дренажной оболочке движет круговоротами смены литосферных плит континентов и океанов, рождает граниты и базальты с их замещениями, образует нефтегазоруды и георискы трансформирующие поля палео-прочности поли-грунтов субчастей и в целом Земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сергеев Е.М. и др. Теоретические основы инженерной геологии. В четырех томах. Том Геологические основы М.: Недра, 1985, 332 с.
2. Осипов В.И., Шойгу С.К., Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л. и др. Природные опасности и общество. М.: Издательская фирма «КРУК», 2002.-248 с.
3. Трофимов В.Т. Теория и методология экологической геологии. М.:1997, 368 с.
4. Епифанов В.А. Геологические циклы и геохронологическая шкала в системе галактических пульсаций Земли. // Материалы VIII Международной конференции "Новые идеи в науках о Земле". – Москва, 2007. – Т.1. – С. 120–123.
5. Кадыров С. Анализ некоторых фундаментальных вопросов естествознания в свете теории Единого поля (теория физического мира). Бишкек «Илим» 1996. 128 с.
6. Малиновский Ю.М. Недра-летопись биосферы. М. Недра, 1990, 161 с.
7. http://spacegid.com/vrashhenie-solntsa.html#ixzz5Md4ES9VB
8. Усупаев Ш. Э. Инженерная геономия – новый путь развития геологии и инженерной геологии. //Материалы 8-ой межреспубликанской научной конференции молодых ученых. Фрунзе: Изд-во “Илим”, 1986. с. 143 – 147.
9. Усупаев Ш.Э. Инженерная геономия и катастрофоведение основы Общей Теории Земли. ИЗВЕСТИЯ Национальной Академии наук Кыргызской Республики. Бишкек, “Илим”, 2011, №2, С. 118 - 124.
10. Усупаев Ш.Э. Единая ноосферно-инженерно-геономическая теория Земли. Научно-теоретический Журнал: Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана №11, 2015. С. 24-38.
11. Афанасьев С.Л. Геохронологическая шкала фанерозоя и проблема геологического времени.-М: Недра, 1987, 144 с.
12. Ачкасов П.В., Усупаев Ш.Э. Гипотеза ударного преобразования планет Солнечной системы на примере Земли. Материалы международной конференции «Подготовка к чрезвычайным ситуациям и реагирование на риски экологической безопасности в Центрально-Азиатском регионе». 18-19 декабря 2000 г. Бишкек, С. 139-145
13. Минору Озима История Земли. Изд-во «Знание» М.:1983, 205 с.

14. Малышков Ю. П., Малышков С. Ю. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра Земли. // Геология и геофизика, 2009. Т. 50. №2. С. 152-172.
15. Ларин В. Н. Гипотеза изначально гидридной Земли. М.: Изд-во "Недра", 1980. 216 с.
16. Семененко Н.П. Геохимия сфер Земли. Изд-во «Наукова думка». Киев. 1983. 144 с.
17. Ежов Б. В. Морфоструктуры центрального типа Азии. Москва: Изд-во "Наука", 1986. 134 с.
18. Григорьев С.М., Емцев Е.Т. Скульптор лика Земли. Изд-во «Мысль» М., 1977. 192 с.
19. Айтматов И.Т. Геомеханика рудных месторождений Средней Азии. Изд-во «Илим». Фрунзе, 1987. 247 с.
20. Тажибаев К.Т. Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород. (Том.1) Бишкек. Алтын Принт-2016, 352 с.
21. Тажибаев К.Т. Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород. (Том.2). Бишкек: Алтын Принт-2016, 357 с.
22. Белоусов В.В., Вихерт А.В. (под.ред.) Вопросы геономии (Кора и верхняя мантия).Изд. МГУ, 1972, 240 с.
23. Артемьев М.Е. Изостазия территории СССР/Ин-т физики Земли им. О.Ю.Шмидта. М.: Наука, 1975 .–215 с .
24. Круть И.В. Введение в общую теорию Земли. М.: Мысль, 1978. 368 с.
25.Айтматов И.Т., Тажибаев К.Т. Явление скачкообразного освобождения остаточных напряжений в горных породах: Диплом на научное открытие (Диплом № 90, № А-109 от 29.04.1998 г.), выданный Международной Ассоциацией авторов научных открытий и Российской Академией естественных наук (Москва), 1998.
26.Тажибаев К.Т. Концепция стационарной деформации литосферных плит, прогноз и предупреждения тектонических землетрясений. / Известия Национальный академии наук Кыргызской Республики. 2009 г. № 2. Бишкек. – с.47-57
27. Тажибаев К.Т.,Тажибаев Д.К., Акматалиева М.С. Закономерность изменения относительной величины скорости прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны от механического напряжения в твердых материалах (закон Кушбакали) /Диплом № 453 на научное открытие от 3 октября 2013 года, г. Москва. Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Российская академия естественных наук. //Научные открытия -2013. Сборник кратких описаний. –М.РАЕН, 2014г. –С 48-50.

УДК 622.02; 622.831.32

АНАЛИЗ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ УДАРОВ

А. С. Батугин
НИТУ МИСиС, Горный институт, Москва, РФ.

Тектонофизический анализ направлений смещений крыльев нарушений при сильных горных ударах показывает их связь с региональным полем напряжений, что позволяет рассматривать эти геодинамические явления как реализацию тектонического процесса. Также делается вывод, что региональные участки предельно напряженного состояния земной коры создают среду для возникновения опасных геодинамических явлений в горнопромышленных районах.

Ключевые слова: горный удар, горно-тектонический удар, техногенное землетрясение, поле напряжений, реактивация нарушений, направление подвижки, предельно напряженное состояние

ANALISIS OF TECTONOPHYSICAL CONDITIONS OF TECTONIC ROCK BURSTS

A. S. Batugin
National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia

Tectonophysical analysis of the obtained data shows that the direction of displacement of the walls of large faults during strong rock bursts is determined by the tectonic regional stress field. It shows that mining works serve not only as a trigger for anthropogenic phenomena (rock bursts) but also for the natural tectonic process of the Earth (motion of blocks).

Also is concluded that critical stress state of Earth crust segments is medium for manifestation of geodynamic phenomena.

Key words: rock burst; tectonic rock burst; man-made earthquake, stress field; fault reactivation; direction of displacement; critical stress state.

1.Введение

Проблема геодинамической безопасности продолжает оставаться одной из актуальных в различных горнопромышленных районах мира [1-8]. Крупные горно-тектонические удары, получившие в зарубежной

литературе также названия 'fault slip', 'slip burst', техногенные землетрясения в горнопромышленных районах остаются недостаточно изученными явлениями. Характерной чертой горно-тектонических ударов является то, что они сопровождаются макроскопическими подвижками крыльев крупных разрывных нарушений. Изучение направлений смещений крыльев нарушений может дать представление о тектонофизических условиях, предшествующих горному удару, что важно для более глубокого понимания природы и механизма этих явлений.

Многие из произошедших в последнее время крупных геодинамических событий не находят объяснения с позиций установившихся представлений о геомеханических процессах в массиве горных пород и формировании его напряженно-деформированного состояния [9]. В качестве примера можно назвать Бачатское землетрясение, произошедшее в июне 2013 г., гипоцентр которого по данным [10] находился под карьерной выемкой на глубине около 4 км. В то же время в геодинамике недр, сейсмологии, геомеханике развиваются идеи о предельном состоянии не только локальных, но и крупных сегментов земной коры [2, 11-12], что позволяет использовать эти взгляды при анализе механизма крупных горно-тектонических ударов и землетрясений.

2. МЕТОД

2.1 О методе геодинамического районирования.

В России при решении проблемы горных ударов более 30 лет назад был разработан метод геодинамического районирования, предназначенный для оценки напряженного состояния массива и выявления опасных мест в шахтах [13]. Согласно концепции геодинамического районирования, опасные зоны в районе месторождения формируются за счет взаимодействия геодинамически активных блоков земной коры различного иерархического ранга, образование которых связано с глобальными геодинамическими процессами в земной коре.

2.2 Тектонофизические методы оценки напряженного состояния массива.

Методы тектонофизики широко применяются при анализе полей тектонических напряжений и условий образования тектонических структур [13, 14-17]. Данные полевого изучения зеркал скольжения и измерений ориентации в пространстве следов скольжения на сместителях нарушений позволяют реконструировать поля напряжений, вызвавшие деформацию массива. Таким образом, зная ориентировку смещения крыльев нарушений при горных ударах, можно оценивать характеристики поля напряжений, вызвавшего эту подвижку. Изучение положения в пространстве реактивированных нарушений и направление

смещений их крыльев при горно-тектонических ударах легло в основу проведенного тектонофизического анализа.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1 Изучение тектонофизических условий проявления горно-тектонических ударов на бокситовых рудниках Урала

Североуральский бокситовый рудник долгое время был одним из наиболее удароопасных в России. Установлено, что максимальное сжатие в этом районе ориентировано субгоризонтально и превышает вертикальную составляющую в 2,5 раза [16]. Здесь было отмечено, что направления смещения крыльев мелких тектонических нарушений при обычных горных ударах ($E<10^5$Дж) распределены хаотично и характеризуют техногенное поле напряжений, созданное при ведении горных работ [17, 18]. Одновременно на шахте происходили более крупные горные удары (горно-тектонические), размеры очагов которых достигали сотен метров как в плане, так и по вертикали. При обследовании некоторых из этих очагов для крупных нарушений шахтного поля было установлено направление смещения крыльев при горных ударах и амплитуда этих смещений, рис. 1, табл. 1.

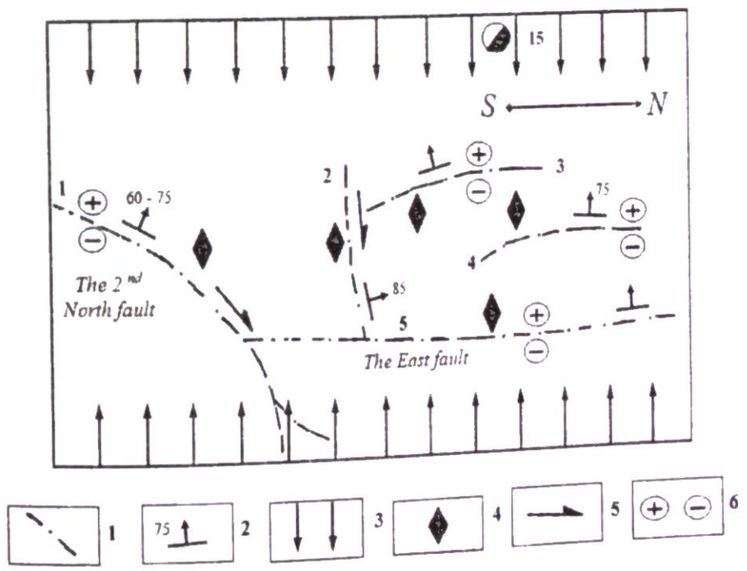


Рис. 1. Схема расположения эпицентров горно-тектонических ударов с подвижками по крупным тектоническим нарушениям шахты 15 СУБРа: 1- крупные тектонические нарушения; 2- направление и угол падения, 3 – направление максимального сжатия современного поля напряжений; 4 – эпицентры горно-тектонических ударов; 5 – направление смещения крыльев нарушений при горных ударах; 6 – относительное поднятое крыло нарушения.

литературе также названия 'fault slip', 'slip burst', техногенные землетрясения в горнопромышленных районах остаются недостаточно изученными явлениями. Характерной чертой горно-тектонических ударов является то, что они сопровождаются макроскопическими подвижками крыльев крупных разрывных нарушений. Изучение направлений смещений крыльев нарушений может дать представление о тектонофизических условиях, предшествующих горному удару, что важно для более глубокого понимания природы и механизма этих явлений.

Многие из произошедших в последнее время крупных геодинамических событий не находят объяснения с позиций установившихся представлений о геомеханических процессах в массиве горных пород и формировании его напряженно-деформированного состояния [9]. В качестве примера можно назвать Бачатское землетрясение, произошедшее в июне 2013 г., гипоцентр которого по данным [10] находился под карьерной выемкой на глубине около 4 км. В то же время в геодинамике недр, сейсмологии, геомеханике развиваются идеи о предельном состоянии не только локальных, но и крупных сегментов земной коры [2, 11-12], что позволяет использовать эти взгляды при анализе механизма крупных горно-тектонических ударов и землетрясений.

2. МЕТОД

2.1 О методе геодинамического районирования.

В России при решении проблемы горных ударов более 30 лет назад был разработан метод геодинамического районирования, предназначенный для оценки напряженного состояния массива и выявления опасных мест в шахтах [13]. Согласно концепции геодинамического районирования, опасные зоны в районе месторождения формируются за счет взаимодействия геодинамически активных блоков земной коры различного иерархического ранга, образование которых связано с глобальными геодинамическими процессами в земной коре.

2.2 Тектонофизические методы оценки напряженного состояния массива.

Методы тектонофизики широко применяются при анализе полей тектонических напряжений и условий образования тектонических структур [13, 14-17]. Данные полевого изучения зеркал скольжения и измерений ориентации в пространстве следов скольжения на сместителях нарушений позволяют реконструировать поля напряжений, вызвавшие деформацию массива. Таким образом, зная ориентировку смещения крыльев нарушений при горных ударах, можно оценивать характеристики поля напряжений, вызвавшего эту подвижку. Изучение положения в пространстве реактивированных нарушений и направление

смещений их крыльев при горно-тектонических ударах легло в основу проведенного тектонофизического анализа.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1 Изучение тектонофизических условий проявления горно-тектонических ударов на бокситовых рудниках Урала

Североуральский бокситовый рудник долгое время был одним из наиболее удароопасных в России. Установлено, что максимальное сжатие в этом районе ориентировано субгоризонтально и превышает вертикальную составляющую в 2,5 раза [16]. Здесь было отмечено, что направления смещения крыльев мелких тектонических нарушений при обычных горных ударах ($E<10^5$Дж) распределены хаотично и характеризуют техногенное поле напряжений, созданное при ведении горных работ [17, 18]. Одновременно на шахте происходили более крупные горные удары (горно-тектонические), размеры очагов которых достигали сотен метров как в плане, так и по вертикали. При обследовании некоторых из этих очагов для крупных нарушений шахтного поля было установлено направление смещения крыльев при горных ударах и амплитуда этих смещений, рис. 1, табл. 1.

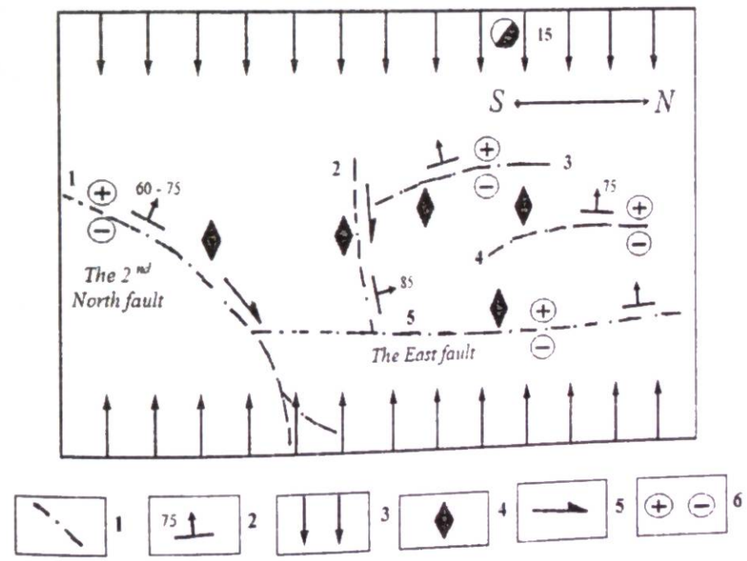


Рис. 1. Схема расположения эпицентров горно-тектонических ударов с подвижками по крупным тектоническим нарушениям шахты 15 СУБРа: 1- крупные тектонические нарушения; 2- направление и угол падения, 3 – направление максимального сжатия современного поля напряжений; 4 – эпицентры горно-тектонических ударов; 5 – направление смещения крыльев нарушений при горных ударах; 6 – относительное поднятое крыло нарушения.

Таблица 1. Характер смещения крыльев нарушений при горно-тектонических ударах

Нарушение			Ориентировка касательного напряжения на сместителе, T_n (угол γ)	Ориентировка вектора смещения v_n, при горном ударе (угол γ)	Амплитуда смещения при горном ударе, см	Энергетический класс	Разница в ориентировке T_n и v_n
Название	Азимут /угол падения	Длина, км					
СУБР, рис 2. Современное поле напряжений (ориентировка/угол падения): σ_{max}:105/10; σ_2: субвертикальная; σ_{min}: 13/4							
№4	270/75	0.5	175	85	< 1	≤ 5	90
№3	260/75	0.5	5	85	<1	≤ 5	80
№1	293/75	>2	155	65	<1	≤ 5	90
№2	350/85	1.5	9	115	<1	≤ 5	105
№5	252/60	>10	28	75	3	≤ 5	47
№2	5–355/85	1.5	9	10	7	> 6	1
№1	285/66	>2	95	115	5	> 6	20
Кузбасс, рис. 4. Современное поле напряжений: σ_{max}:220–230/0; σ_2: субгоризонтально; σ_{min}: субвертикально							
Bachat and Salair thrusts	220–230/50	>10	90	90	нет данных	15	совпадение
Месторождение Бейпяо, Китай, рис. 2. Современное поле напряжений: σ_{max}: 255/0; σ_2: субвертикально; σ_{min}: субгоризонтально							
F_8	300/66		170	10	3	9	20
F_9	284/70		163	153	5	12	10
F_{10}	55/85		35	20	17	12	15

Анализ показал, что направления подвижек по крупным нарушениям выделяются из общего фона, часто соответствуют ранее существовавшим следам скольжения и подчиняются не локальному, а региональному полю напряжений, существующему в регионе. Например, в современном поле напряжений нарушение 2 работает как правый сдвиг, нарушение 2-й Северный взброс (2nd North fault) работает как правый взбросо-сдвиг, Восточный взброс (East fault) и нарушения 3 и 4 (рис. 1) работают как взбросы. Наблюдения показали, что при

сильных горных ударах крылья этих нарушений смещались соответственно современному региональному полю напряжений, табл. 1. Было установлено, что размер фокальной зоны для сильных горных ударов достигает 300 м, а размеры активных блоков земной коры составляют 2-3 км.

3.2 Тектонофизические условия проявления горно-тектонических ударов на месорождении Бейпяо в КНР

Для угольного месторождения Бейпяо методом геодинамического районирования установлено, что размеры блоков земной коры, включающих шахтное поле, составляют 2 км и более [18]. Границы блоков совмещаются с имеющимися тектоническими нарушениями, отчетливо проявляются в рельефе и смещают элементы гидросети, т.е. выявленные блоки земной коры участвуют в современном тектоническом процессе. Максимальное сжатие действует в субгоризонтальной плоскости по азимуту 255° (рис. 2).

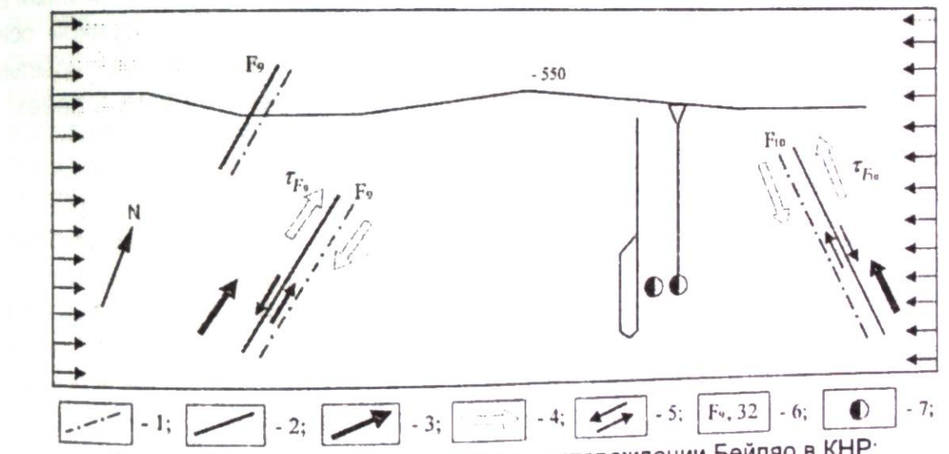


Рис. 2. Тектонофизическая схема месторождении Бейпяо в КНР:
1 – нарушения шахтного поля; 2 – границы геодинамически активных блоков земной коры; 3 – направление смещения угольных пластов; 4 – ориентировка современных касательных напряжений; 5 – направление смещения крыла дизъюнктивного нарушения при горном ударе; 6 – номера дизъюнктивных нарушений; 7 – стволы шахты.

Вертикальной осью является ось промежуточных напряжений. В этом поле напряжений крупные нарушения северо-восточной ориентировки F_8 и F_9, уходящие за границы шахтного поля, испытывают тенденцию к правому сдвиганию, а крупное нарушение F_{10} северо-западной ориентировки – к левому, табл. 1, рис. 2. Результаты обследования сместителей нарушений в очаговых зонах показывают, что при горно-тектонических ударах направления подвижек были обратными (реверсивными) по сравнению с разобщением угольных пластов и соответствовали современному региональному полю напряжений. По нарушению F_{10} (по характеру смещения угольных пластов в

геологическое время это правый сдвиг) при горно-тектонических ударах происходили лево-сдвиговые подвижки на величину до 17 см, а по нарушениям F_9 и F_8 (левые сдвиги по характеру смещения угольных пластов в геологическое время) происходили право-сдвиговые подвижки. Размеры очагов горных ударов достигали 300 м и более.

На примере этого месторождения также можно видеть, что направления смещений крыльев крупных дизъюнктивных нарушений при горно-тектонических ударах подчиняется региональному современному полю напряжений.

3.3 Тектонофизические условия проявления землетрясения на Бачатском угольном карьере.

Под Бачатским угольным разрезом в Кузбассе в июне 2013 г. произошло крупнейшее техногенное землетрясение с магнитудой 6,1 [10]. Бачатский карьер находится на западной окраине Кузбасса, где имеется серия крупных взбросов (с падением на запад, создающих чешуйчатое тектоническое строение массива, рис. 3. Исследованиями в этом районе [13] установлено поле напряжений с ориентировкой оси максимального сжатия в направлении ЮЗ-СВ, т. е. висячие крылья взбросов стремятся сдвинуться в современном поле напряжений вверх.

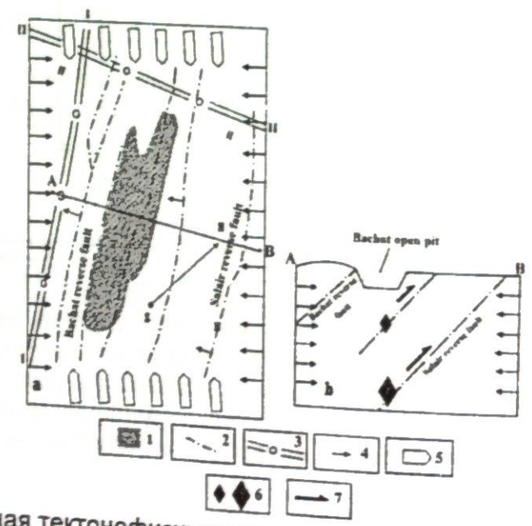


Рис. 3 Упрощенная тектонофизическая схема района Бачатского техногенного землетрясения: 1 – Бачатский карьер; 2 – тектонические нарушения; 3- границы блоков земной коры 2-го ранга; 4, 5 – направление максимального сжатия поля напряжений 2-го и 3-го рангов соответственно; 6 – условно гипоцентры афтершоков и главного толчка; 7 – направление смещения крыла взброса при землетрясении.

По данным [10], главный толчок Бачатского землетрясения представлял собой чистый взброс с ориентировкой одной из нодальных плоскостей в направлении ЮВ-СЗ и ее падением на ЮЗ. Сопоставляя эти данные с тектонической схемой района, можем сделать вывод, что во время Бачатского землетрясения произошла взбросовая подвижка по

региональному взбросу в направлении действия касательных напряжений современного поля напряжений (см. рис. 3).

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Фактические данные о проявлении крупных горных ударов и техногенных землетрясений показывают, что направления смещений по крупным тектоническим нарушениям шахтных полей увязываются с региональным современным полем напряжений. Это можно объяснить тем, что размеры области подготовки крупного горного удара намного превышают размеры области влияния горных работ и сопоставимы с размерами блоков горных пород, участвующих в современном тектоническом процессе. Действительно, по разным оценкам размер R области массива горных пород, оказывающей влияние на очаг динамического явления, превосходит размер r очага в 10-20 раз или даже более [19]. По фактическим данным размер очагов обычных горных ударов составляет r = 10-20 метров, т.е. размеры области *R* подготовки динамического явления составляют первые десятки-сотни метров, и эта область *R* лежит в зоне наибольшего изменения первоначального напряженного состояния массива в результате ведения горных работ. В этом случае при «оживлении» нарушений подвижки по ним фиксируются как происходящие под воздействием техногенного поля напряжений, на что обращено внимание в ряде работ [20-21]. При горно-тектонических ударах размеры очага r составляют первые сотни метров. Опираясь на соотношение *R/r = 10 -20* можно получить, что размеры области подготовки динамического явления R составят уже первые километры, что соизмеримо с блоками земной коры, размеры которых превышают размеры области, в которой ориентация осей напряжений изменена в результате ведения горных работ. Из представлений об иерархической соподчиненности полей напряжений [22] Osokina, 1988) следует, что подвижка по нарушению заданного размера может произойти только под действием поля напряжений определенного ранга. Поле напряжений, вызывающее подвижку по нарушению, действует в некоторой области, включающей данное нарушение и является региональным по отношению к нему. Поэтому при сильных горно-тектонических ударах именно региональное поле напряжений может управлять направлениями смещений по крупным тектоническим нарушениям.

Кроме того, на основе представлений о предельно напряженном состоянии верхней части земной коры [2], можно объяснить феномен расположения гипоцентров техногенных землетрясений на глубинах, превышающих глубину ведения горных работ. Согласно идее, высказанной И. М. Петуховым, в земной коре предельно напряженное состояние формируется под действием горизонтальных сил сжатия и в первую очередь достигается в приповерхностном слое. Если горизонтальные напряжения достаточно велики, то в предельное

состояние постепенно переходят все более глубокие слои земной коры. Своеобразие этого слоя, находящегося в предельно напряженном состоянии (по аналогии с призабойной частью угольного пласта), заключается в том, что внутри него сохраняются участки (объемы) находящиеся в упругом состоянии. В этих условиях возможен широкий спектр проявлений деформаций в массиве при техногенном воздействии – горные удары, крип, техногенные и природные землетрясения.

По данным работы [23, рис. 3], в которой обобщены эмпирические формулы ряда авторов по оценке зависимости размеров очага землетрясения L от его магнитуды M, можем принять, что размеры L очага Бачатского землетрясения, имевшего магнитуду M_L = 6.1, составляют не менее 10 км. Рассматривая основные концепции, объясняющие механизмы коровых землетрясений, можно видеть, что в них так или иначе используется представление о предельном состоянии массива в очаговой области. В ряде работ, например, [11, 12] прямо указывается на то, что в земной коре существуют участки массива, с состоянием, близким к предельному. При размерах очаговой зоны Бачатского землетрясения более 10 км и глубине гипоцентра в 4 км это означает, что земная кора в районе карьера находилась в предельном состоянии непосредственно от земной поверхности до глубины в несколько километров, а горные работы фактически велись в этой зоне. Этим можно объяснить большую глубину гипоцентра Бачатского землетрясения, как и других подобных геодинамических явлений.

При размере очага в 10 км область его подготовки составит 100-300 км, что соизмеримо с размерами блоков земной коры 2-го ранга, выделенных в этом районе методом геодинамического районирования [13]. В этом случае можно представить, что взаимодействие крупных блоков земной коры формирует зоны предельно напряженного состояния внутри них или на их границах. Поскольку скорость геологических процессов достаточно низкая, то энергия зон предельного состояния успевает перераспределяться в массиве и условия для его разрушения в динамической форме не создаются. При ведении горных работ, высокой скорости подвигания забоя на шахтах, проведении массовых взрывов на карьерах, скорость приложения нагрузки может превышать скорость ее релаксации, что создает среду для возникновения опасных геодинамических явлений.

5. ВЫВОДЫ

1. Изучение направлений смещений крыльев нарушений при сильных горных ударах и техногенном землетрясении показывает их связь не с локальными полями напряжений, возникшими при ведении горных работ, а с региональным полем напряжений. Это можно объяснить тем, что размеры области подготовки крупных горных ударов достигают нескольких километров и более (при Бачатском техногенном землетрясении до 100-200 км), что сопоставимо с размерами блоков

земной коры, участвующих в современном тектоническом процессе. Подчинение направлений смещений крыльев крупных нарушений при сильных горных ударах современному полю напряжений позволяет рассматривать горные работы как триггер тектонических процессов Земли.

2. На основе представления о предельно напряженном состоянии земной коры может быть объяснен феномен влияния горных работ на крупные сейсмические активизации с гипоцентрами на большой глубине, такие, например, как Бачатское землетрясение.

3. Результаты исследований могут быть использованы для дальнейшего изучения природы тектонических горных ударов и характера взаимодействия глобальных и локальных геодинамических процессов в районе месторождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айтматов И.Т., Кожогулов К.Ч. Современное состояние проблемы горных ударов в горнорудной промышленности Кыргызстана //Горный журнал. – 2002. - № 10.
2. Петухов И. М., Батугина И. М. Геодинамика недр. М.: Недра Коммуникейшенз, 1999.
3. I. Yu. Rasskazov, B. G. Saksin, V. I. Usikov, M. I. Potapchuk, Gornyi Zhurnal 12, 13-19. Doi: 10.17580/gzh. 2016.12.03 (2016).
4. Тажибаев К. Т. Научно-технические основы прогноза и предупреждения тектонических горных ударов и землетрясений/ Материалы Первого Международного симпозиума «Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений», г. Бишкек, 21-23 сентября 2016 г. Бишкек: НАН КР, 2016. С. 26-38.
5. Durrheim, R.J. Mitigating the risk of rock bursts in the deep hard rock mines of South Africa: 100 years of research. In: Proceedings of the SME Annual meeting and exhibit, Phoenix, Arizona, 21–24 February 2010. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc., 156–171. ISBN 978-0-87335-322-9.
6. Jiang, Y.-D., Y.-S. Pan, F.-X. Jiang, L.-M. Dou and Y. Ju. 2014. State of the art review on mechanism and prevention of coal bumps in China. J. Meitan Xuebao/Journal of the China Coal Society. February, 39(2):205–213.
7. Patynska, R. The consequences of rock burst hazard for Silesian companies in Poland. J. Acta Geodynamica Et Geomaterialia, 2013,10(2):227–235.
8. Butler A., Simser B. S., Proceedings of the 9th International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines (RaSim-9), Santiago Chile, on 15-17 of November, 290-296. (Santiago, 2017).
9. Ловчиков А. В. Некоторые закономерности проявления горно-тектонических ударов и техногенных землетрясений на рудниках России: Материалы Первого Международного симпозиума «Прогноз и

предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений», г. Бишкек, 21-23 сентября 2016 г. Бишкек: НАН КР, 2016. С. 39-49.
10. Emanov, A.F., A.A. Emanov, A.F. Fateev andE.V. Leskova. 2014. Mining-induced seismicity at open pit mines in Kuzbass (Bachatsky earthquake on June 18, 2013). Journal of Mining Science. March, 50(2):224–228.
11. G. A. Sobolev, A.B. Ponomarev, Physic of Earthquake and precursor. (Science, Moscow, 2003).
12. W. L. Ellsworth, Science, 341, Doi: 10.1126/science.1225942 (2013).
13. Batugina, I.M. and I.M. Petukhov. 1990. Geodynamic zoning of mineral deposits for planning and exploitation of mines. 159 p. New Delhi: Oxford and IBH Publishing Co. Pvt. Ltd.
14. Anderson, E.M. 1951. The dynamics of faulting. 2nd ed. 206 p. Edinburgh: Oliver and Boyd.
15. Rebetsky, Y.L. 1999. Method for reconstructing tectonic stresses and seismotectonic deformations based on the modern theory of plasticity. J. Doklady Earth Sci., 365A, 3:370–373.
16. Прогноз и предотвращение горных ударов на рудниках/ Под ред. И.М. Петухова, А.М. Ильина, К.Н. Трубецкого М.: Изд. АГН. 1997. 377 с.
17. Батугин А.С. Тектонофизическая модель горно-тектонических ударов с подвижками крыльев крупных тектонических нарушений. // ГИАБ, «Труды научного симпозиума «Неделя Горняка – 2010». 2010. С. 252-264.
18. Batugin A. S. On the tectonophysical conditions of tectonic rock bursts / Proceedings of the Ninth International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines (RASiM-2017), Nov. 15-17, 2017. Santiago, Chile, 2017, pp. 140-144.
19. Смирнов В. А. Физические процессы в очагах горных ударов и региональный прогноз их по геофизическим полям: Автореф. дисс. д-ра техн. наук. – С.-Петербург: ВНИМИ, 1991. – 51 с.
20. Ермаков Н. И. Инициирование тектонических деформаций как причина разрушения подрабатываемой толщи пород // ГИАБ, 2005, №8. С. 150-156.
21. Li, T., M. Cai, L. Sun and Y. Zuo. 2016. Inversion of mining-induced stress field and its application based on focal mechanism solution. J. Yanshilixue Yu Gongcheng Xuebao/Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2016, 35(9):1747–1753.
22. Osokina, D.N. 1988. Hierarchical properties of a stress field and its relation to fault displacements. Journal of Geodynamics. December, 10(2–4):331–344.
23. E. G. Bugaev, Geodynamic & Tectonophysics. 2(3), 244-265. Doi: 10.5800/GT-2011-2-3-0045 (2011).

УДК: 52-334.7

МЕХАНИЗМ ГЕНЕРАЦИИ ГЛОБАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЗЕМЛИ

[1]К.Т. Тажибаев, [2]Т.А. Омуркулов
[1]Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек
[2]Иссык-Кульский государственный университет им. К.Тыныстанова (ИГУ), Кыргызская Республика, г. Кара Кол.

Основным содержанием статьи является предлагаемый авторами альтернативный механизм генерации магнитного и электрического полей Земли. Этот механизм позволяет объяснить основные особенности магнитного поля Земли, и взаимно увязывает результаты многолетних практических и экспериментальных исследований ученых в области электромагнетизма Земли.

Ключевые слова: магнитное поле Земли, электрическое поле, некомпенсированный заряд, кольцевые токи, инверсия.

ЖЕРДИН ГЛОБАЛДУУ МАГНИТ ЖАНА ЭЛЕКТР ТАЛААЛАРЫНЫН КАЛЫПТАНУУ МЕХАНИЗМИ

[1]К.Т. Тажибаев, [2]Т.А. Омуркулов
[1]Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын геомеханика жана жер казынасын өздөштүрүү институту, Бишкек ш.
[2]К.Тыныстанов атындагы Ысык-Көл мамлекеттик университети (ЫМУ),Кыргыз Республикасы, Кара-Кол ш.

Макаланын негизги мазмунун аторлор тарабынан сунушталган Жердин магнит жана электр талааларынын калыптануу механизми түзөт. Бул механизм Жердин магниттик талаасынын негизги өзгөчөлүктөрүн түшүндүрөт жана Жердин электромагнетизми багытындагы окумуштуулардын көп жылдык практикалык жана экспериментелдик изилдөөлөрүнүн жыйынтыктарын өз-ара байланыштырат.

Өзөктүк сөздөр: Жердин магниттик талаасы, электрдик талаа, толукталбаган заряд, айланма агымдар, кайра жаралуу

THE MECHANISM OF GENERATION OF GLOBAL MAGNETIC AND ELECTRIC FIELDS OF THE EARTH

[1]K.T. Tazhibaev, [2]T.A. Omurkulov

[1]Institute of geomechanics and development of bowels of National academy of Sciences of the Kirghiz Republic, Bishkek

[2]The Issyk-Kul state university the name of K. Tynystanov.

The main content of the article is offers the alternative mechanism of generation of the Earth's magnetic and electric fields proved by the authors. This mechanism allows to explain the main features of the Earth's magnetic field, and mutually connects the results of many years of practical and experimental research of lead scientists in the field of the Earth's electromagnetism.

Key words: Earth's magnetic field, electric field, uncompensated charge, ring current, inversion

Введение.

Началом систематического исследования Магнитного поля Земли (далее сокращенно МПЗ) считают начало XVII века, когда английский исследователь У.Гильберт взялся за изучение земного магнетизма, уподобляя Землю с шаром из магнитного железа (Землицей). В результате этих исследований в 1600 году опубликовал, гениальный для своего времени, трактат «О магните …». До XVII века изучение магнетизма Земли носило обрывистый и предположительный характер. Причину земного магнетизма связывали с небесами, в частности с полярной звездой [1]. Теория Гильберта считалась единственно верной целых три столетия. Позже когда обнаружили, что температура недр Земли глубже 30–70 км превышает точку Кюри для ферромагнетиков, ученые начали искать другие пути для объяснения МПЗ [2 с. 23]. В связи с таким положением за период с конца XIX века до настоящего времени учеными геофизиками всего мира разработаны множество гипотетических теорий, ни одна из которых не смогла взаимно увязать и теоретически обосновать результаты практических и экспериментальных исследований. Последней гипотетической теорией является теория гидромагнитного динамо [3 с.141–151].

В первом приближении магнитное поле Земли (далее МПЗ) подобно полю гигантского магнитного диполя, расположенного в центральных частях Земного шара, с Южным магнитным полюсом, расположенным в северном полушарии, и с Северным магнитным полюсом в южном полушарии Земли. Магнитный момент этого диполя примерно равен $M = 1{,}5 \cdot 10^{16}$ А·м^2 ($7.98 \cdot 10^{25}$ Гс·см^3). Общий вид МПЗ изображен на рис.1. МПЗ лучше описывается, если считать, что источник цилиндрический и его ось отстоит от центра Земли (по данным 1965 г.) на 465 км в направлении Тихого океана. Такой источник (диполь) называется эксцентричным. Ось земного диполя с осью Земли

составляет угол $11{,}5^0$. Среднее значение вектора индукции B этого поля у поверхности Земли в полярных районах около 0,7 Гс, а вблизи экватора около 0,3 Гс. При более точном рассмотрении хорошо заметны отклонения от дипольного поля. Они возникают в основном за счет мировых (материковых) магнитных аномалий. Наиболее заметными являются, Восточносибирская и Южно-Атлантическая (Бразильская) магнитные аномалии. К настоящему времени известно, что МПЗ подвержено инверсионно циклическим изменениям. Время между двумя смежными инверсиями составляет порядка 10^4 лет [4 с.109–112].

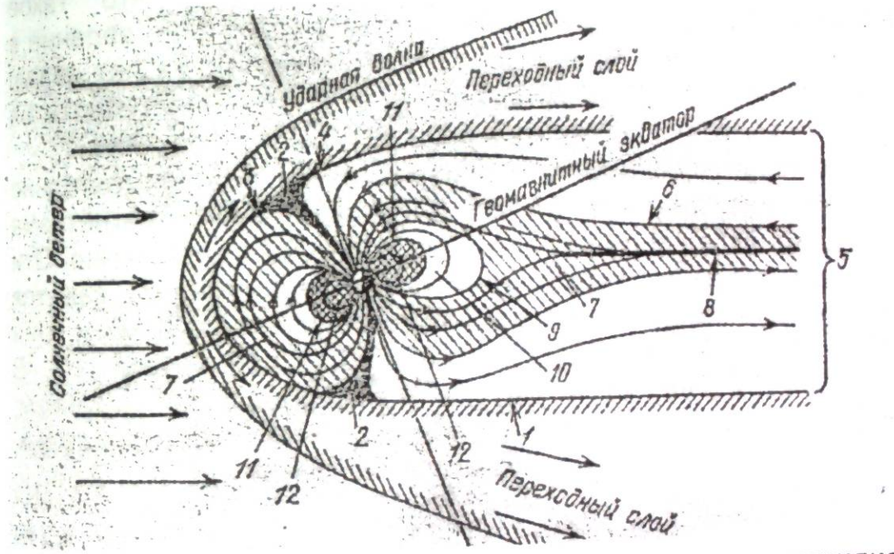


Рис. 1 Магнитосфера Земли (срез по геомагнитному меридиану) [2]. Штриховкой отмечена область, занятая плазменным слоем. 1-магнитопауза; 2-полярные каспы; 3, 4, 6 и 9-силовые линии, ограничивающие овал полярных сияний; 5-хвост магнитосферы; 8-нейтральный слой; 10-провал; 11-плазмопауза; 12-плазмосфера.

Развитие представлений об электрическом поле Земли (далее ЭПЗ) началось с того, когда М.В. Ломоносов совместно с Г.В. Рихманом взялись за исследование электрического поля Земли. Эту область науки в последствии развивали В. Франклин (1706–1790 г.г.), Х. К. Эрстед (1777 – 1861 г.г.), В. А. Фарадей (1791 – 1867 г.г.). Р.В. Фокс в 1929 г. Ряд открытий в этом направлении сделал французский физик А.М. Ампер (1775 – 1836 г.г.). **Он высказал гипотезу о том, что направление стрелки компаса (север-юг) обусловлено протеканием в толще Земли токов с востока на запад** [5 с.101]. В настоящее время известно, что между земной поверхностью и верхними слоями атмосферы имеется электрическое поле со средней напряженностью более $E = 100 - 150$ В/м, направленное к поверхности Земли, причем это поле имеет тенденцию роста с увеличением высоты. Земля ведет себя как шар с отрицательным зарядом, а верхние слои атмосферы –

(ионосфера) как прослойка с положительным зарядом [6 с. 174–175,7 с.133–134].

Еще одним важным электромагнитным явлением Земли являются грозы. Они связаны в основном с кучевыми грозовыми облаками. В некоторых источниках имеются сведения о разделении зарядов в небольших кучевых облаках, причем отрицательный заряд располагается в нижней части, а положительный в верхней части облака [6 с. 181–198, 7 с. 134–135].

Разряды в верхней атмосфере (далее РВА) – это происходящие над грозовыми облаками световые вспышки. Интересно, что такое крупномасштабное, простирающееся на десятки километров, явление в верхней атмосфере Земли было открыто всего около 20-ти лет назад. Первое документированное свидетельство их существования относится к 1989 г., хотя наблюдения случались и раньше [8].

Если коснуться практических измерений и экспериментально полученных научных фактов и данных в области электромагнетизма Земли, то на настоящее время их получено более чем достаточно. Эти факты и данные, из-за отсутствия основополагающей теории, кажутся запутанными и порой противоречащими законам электродинамики. Они нуждаются в теоретическом обосновании и взаимной увязке [10]. В данной работе мы предлагаем теоретически разработанный механизм, основанный на законах и положениях современной электродинамики, приводящий основные электромагнитные процессы Земли под единую основу и к взаимной увязке.

Сущность предлагаемого механизма

1. Глобальные магнитное и электрическое поля Земли.

Предлагаемый нами механизм не требует особых условий для реализации в небесных телах. Необходимыми условиями являются наличие – электропроводящего слоя (ядра) в недрах, вращения небесного тела вокруг собственной оси и внешнего или внутреннего затравочного магнитного поля лишь для начального старта процесса генерации собственного магнитного поля небесного тела. Следовательно, если проводящий шар (земное ядро) вращается вокруг собственной оси в магнитном поле (затравочное поле), имеющем составляющую вектора индукции B_o, направленную вдоль оси вращения с юга на север (рис.2, а), то на каждый заряд (электроны, ионы), находящийся в ядре и вращающийся вместе с ним, с линейной скоростью;

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{\omega} \cdot \boldsymbol{r}, \qquad (1)$$

действует сила Лоренца со стороны затравочного магнитного поля;

$$\boldsymbol{F_L} = \boldsymbol{q} \cdot \boldsymbol{v} \cdot \boldsymbol{B_o} \cdot \boldsymbol{sin\alpha}, \qquad (2)$$

где $\boldsymbol{\omega}$ – угловая скорость вращения, $\boldsymbol{r}$ – расстояние от оси вращения до заряда $\boldsymbol{q}$. Угол $\boldsymbol{\alpha} = \boldsymbol{90^\circ}$ т.к. здесь векторы $\boldsymbol{v}$ и $\boldsymbol{B_o}$ перпендикулярны.

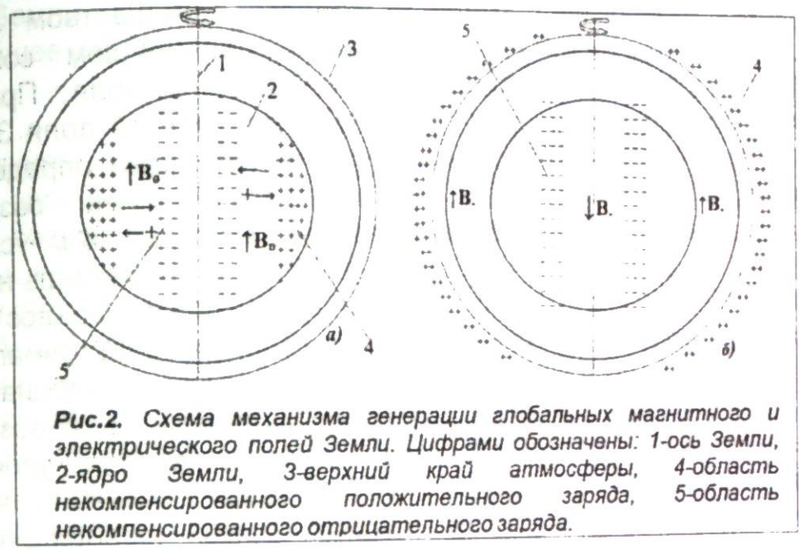


Рис.2. Схема механизма генерации глобальных магнитного и электрического полей Земли. Цифрами обозначены: 1-ось Земли, 2-ядро Земли, 3-верхний край атмосферы, 4-область некомпенсированного положительного заряда, 5-область некомпенсированного отрицательного заряда.

Применив правило левой руки легко убедиться, что эта сила разделяет свободные заряды – отрицательные в сторону оси вращения, а положительные к внешнему краю земного ядра. В результате длительного действия этих сил на свободные заряды в ядре образуются две кольцевые области в виде полых концентрических цилиндрических областей, имеющие некомпенсированные противоположные заряды, отрицательная $\boldsymbol{Q_-}$ (внутреннее кольцо) вблизи оси вращения, и положительная $\boldsymbol{Q_+}$ (внешнее кольцо) дальние от оси вращения края земного ядра (рис.2, а). Эти области имеют суммарные заряды противоположного знака, равные по модулю;

$$|\boldsymbol{Q_+}| = |\boldsymbol{Q_-}| \qquad (3)$$

При вращении Земли вокруг собственной оси эти области, вращаясь вместе с ней, создают концентрические кольцевые токи противоположного направления ($\boldsymbol{I_+}$ – с запада на восток и $\boldsymbol{I_-}$ – с востока на запад):

$$\boldsymbol{I_+} = \frac{\boldsymbol{Q_+}}{\boldsymbol{T}}; \ \boldsymbol{I_-} = \frac{\boldsymbol{Q_-}}{\boldsymbol{T}}; \qquad (4)$$

где $\boldsymbol{T}$ – период вращения Земли. Эти кольцевые токи создадут собственные магнитные поля с векторами индукции $\boldsymbol{B_+}$ и $\boldsymbol{B_-}$ соответственно. Определив направления кольцевых токов и их полей (правило буравчика), легко убедиться, что направления векторов $\boldsymbol{B_+}$, $\boldsymbol{B_-}$ и $\boldsymbol{B_o}$ в промежутке между кольцевыми токами $\boldsymbol{I_+}$ и $\boldsymbol{I_-}$ совпадают и взаимно усиливают друг друга, следовательно, способствуют дальнейшему разделению зарядов и увеличению магнитных сил отталкивания (закон Ампера) между этими кольцевыми токами

противоположного (знака) направления. Заметим, что наряду с магнитным полем возникнет и электрическое поле, противодействующее разделению зарядов. Однако очень важно учесть, что это электрическое поле, большей частью, будет экранировано [6 с. 106–108, 9 с. 92–98], разделяющим кольцевые области, проводящим веществом земного ядра. Таким образом, этот механизм в дальнейшем сохраняет «жизнеспособность» и в отсутствие затравочного поля. При этом значение вектора индукции $\boldsymbol{B}$ собственного магнитного поля Земли в каждой точке пространства вне и внутри земного шара определяется суперпозицией векторов $\boldsymbol{B}_+$ и $\boldsymbol{B}_-$ магнитных полей, созданных кольцевыми токами. В дальнейшем главным необходимым условием существования и развития собственного МПЗ становится лишь наличие вращения планеты вокруг собственной оси. Этот же процесс можно рассматривать иначе, с точки зрения явления электромагнитной индукции, так как вращательное движение не является инерциальным, то во вращающемся в магнитном поле проводящем шаре возникают индукционные токи, т.е. кольцевые токи I_+ и I_-, которые упомянуты выше, но результат будет один и тот же. Следует отметить, что это явление (эффект) обнаруживается во вращающихся проводящих телах на основе противодействующего равновесия электрических и магнитных сил, действующих на свободные заряды данного тела и благодаря явлению экранирования электрического поля электропроводящим веществом. Мы полагаем, что магнитное и электрическое поля небесных тел сосуществуют согласно закону философии единства и борьбы противоположностей.

Проанализируем существование и дальнейшее развитие этого механизма генерации магнитного поля в условиях Земли. Итак, мы имеем два кольцевых тока I_+ и I_- в проводящем ядре Земли. По мере накопления зарядов растут силы магнитного отталкивания между кольцевыми токами (закон Ампера), а также силы электрического отталкивания между близлежащими одноименными зарядами внутри каждого кольца (стремление некомпенсированного заряда к поверхности проводника [6 с. 121]). Результирующее действие этих сил в течение длительного времени (столетия и тысячелетия) приведет к росту диаметров обоих кольцевых областей и постепенному выходу внешней кольцевой области Q_+ сначала за пределы ядра, затем (через мантию и кору) к внешнему краю вращающейся части земной атмосферы, постепенно обретая вид, подобный современному (рис.2, б). Эта область в форме подобия сферы, имеющая некомпенсированный положительный заряд Q_+, является неотъемлемой частью ионосферы и является одним из основных источников электрического поля $\boldsymbol{E}$ Земли, или так называемого атмосферного электрического поля. После выхода внешней кольцевой области Q_+ к внешнему краю вращающейся части земной атмосферы, основным источником собственного МПЗ становится

кольцевой ток I_-, находящийся в рассматриваемый период в земном ядре. Авторы считают, что это именно тот ток, которого предсказал великий Ампер. Подробное описание изначального варианта рассматриваемого механизма генерации магнитного и электрического полей Земли, и их инверсионная цикличность даны в работе [10], дальнейшее развитие и уточнение получили в работах [11–13].

2. Грозы и разряды в верхней атмосфере

Молния — гигантский электрический искровой разряд в атмосфере, обычно происходит во время грозы, проявляющийся яркой вспышкой света и сопровождающим её громом. Ток в разряде молнии достигает 10-20 тысяч ампер. Молнии бывают внутри облачными, между облаками и между облаком и землей [14].

РВА, как отмечено во введении, – это происходящие над грозовыми облаками световые вспышки. Существует несколько разновидностей таких вспышек: красные спрайты, синие и гигантские струи (джеты), эльфы. Окраска вспышек и их форма зависят от высоты, на которой они происходят. В отличие от наблюдаемых на Земле молний, вспышки имеют яркий цвет, обычно красный или синий, и покрывают большие пространства в верхних слоях атмосферы. Наблюдать их можно как с Земли, так и с МКС. Необходимо отметить, что в настоящее время эти явления изучены не в полной мере [8].

В подавляющем большинстве источников разряды молний рассматриваются с точки зрения электростатики и часто вне связи с МПЗ [6 с. 174–197], не смотря на то, что грозовой процесс, начиная с периода подготовки и до полного завершения, является очень динамичным, т.е. электродинамическим процессом, происходящим внутри (МПЗ). Начнем с того, что Земля вращается вокруг своей оси. В результате этого вращения и все частицы Земли и ее атмосферы, вращаясь вместе с ней, обладают линейной скоростью. Эта скорость на экваторе достигает значения $v = 463$ м/с. Это движение всецело протекает внутри магнитосферы Земли. Следовательно, как отмечено в [10], во всех ее сколько-нибудь проводящих частях (ядро, мантия, гидросфера, атмосфера) происходит разделение зарядов под действием силы F_L Лоренца, действующей со стороны МПЗ на заряженные частицы (формула 2). Дополнительным подтверждением данной идеи может служить рис. 84 из работы [7 с.135].

Облако нами рассматривается, как среда (неоднородность) в атмосфере с большей проводимостью, чем окружающий воздух, следовательно, в нем лучше экранируется электрическое поле, т.е.

$$F_L >> F_E$$

где F_L– магнитные силы Лоренца, F_E – сила, действующая на заряды (электроны, ионы) со стороны электрического поля. Таким образом, создается условие для разделения зарядов в облаке под действием

силы Лоренца, действующей на заряды (ионы и электроны) со стороны МПЗ. Применив правило левой руки, убеждаемся в том, что нижняя часть облака заряжается отрицательно, а верхняя – положительно. Степень и величина разделения зарядов, кроме величин входящих в формулу (2), зависят еще от электропроводности и вертикальной мощности облака. Но такое идеальное разделение зарядов возможно лишь в облаках, где конвективные и гравитационные перемешивания практически отсутствуют, т.е. в начальной стадии разделения зарядов в них. В реальных мощных грозовых облаках конвективные и гравитационные потоки перемешивают разделенные заряды, внося путаницу на пути исследователей, пытающихся объяснить реальный процесс разделения зарядов [6 с. 180–198,8, 14]. Используя вышеизложенную альтернативную точку зрения, попытаемся объяснить картину, фактического распределения электрических зарядов в созревшем грозовом облаке. В созревшем плотном грозовом облаке самые крупные капельки (или льдинки) располагаются около вертикальной оси облака. Достигнув определенной массы самые крупные капельки, начинают падать вниз под действием силы тяжести, которая постепенно становится больше силы Лоренца. Такое движение приводит к перемешиванию и переносу положительных зарядов сверху вниз по центру облака. Это перемешивание часто сопровождается внутри облачными разрядами молний, которые можно объяснить законами электростатики в виде пробоя влажного воздуха электрическим полем. В результате этого в нижней части по центру облака образуются небольшой центр положительного заряда и область сильного положительного дождя или града, где возможны разряды молний, вносящие в Землю положительный заряд [6 с. 188–190]. Эти разряды также можно объяснить законами электростатики. Таким образом, в разделении зарядов в облаках главную роль играют силы Лоренца, действующие на заряды со стороны МПЗ, а прочие силы (гравитационные, конвективные часто также электростатические) приводят к разрушениям, перемешиваниям и аннигиляциям разделенных зарядов. Теперь на основе предложенного механизма [10–13] опишем объяснение главной компоненты гроз, разрядов молний облако – Земля, вносящие отрицательный заряд в Землю и РВА, уносящие положительный заряд облака к ионосфере, которые до настоящего времени не имеют полного научного объяснения [6 с. 188–190, 8,14]. Рассмотрим процесс с точки зрения электродинамики (электромагнетизма, а не электростатики) с учетом вращения Земли (атмосферы и облаков) в магнитосфере. При таком подходе упомянутые разряды молний и разряды в верхней атмосфере становятся местными вторичными явлениями на кучевых и грозовых облаках глобального (генерация и развитие МПЗ и ЭПЗ) электромагнитного процесса Земли [15, 16], и научно объясняются известными законами и правилами

фундаментального электромагнетизма [17 с. 60–198]. Теперь подробно поясним сказанное, используя рис. 3. и упомянутые научные факты из источников [6 с. 188–190, 7, 8, 14]. Для этого напомним о том, что во всех частях вращающейся Земли, за исключением полярных, в том числе в атмосфере, облаках и в почве, на заряды со стороны МПЗ действует сила Лоренца. Эта сила смещает свободные заряды отрицательные – в сторону оси вращения Земли, а положительные – в противоположную сторону (в сторону ионосферы) [7 с. 135, 10–13]. В результате на проводящих неоднородностях (облаках, на поверхности Земли и др.), разделенных прослойками слабо проводящей среды (атмосферного воздуха) появляются слоистые наэлектризованные участки (рис.3).

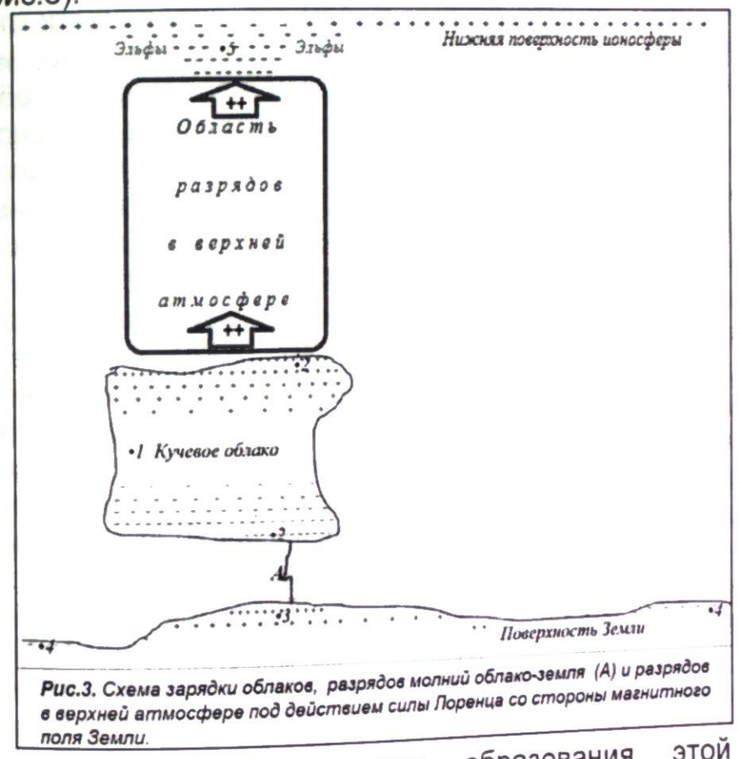


Рис.3. *Схема зарядки облаков, разрядов молний облако-земля (А) и разрядов в верхней атмосфере под действием силы Лоренца со стороны магнитного поля Земли.*

Поясним в деталях механизм образования этой слоистой наэлектризованности. Для этого рассмотрим силы, действующие на заряды внутри облаков, в нижних и верхних краях облаков, в почве под облаками на земной поверхности под ясным небом и над облаком в нижней части ионосферы, т.е. в точках со значками •*1*, •*2*, •*3*, •*4*, •*5* соответственно (рис. 3). В средней по высоте части облаков (•*1*) самая нейтральная часть облака, так как основная часть заряженных частиц уже отодвинуты вверх и вниз, по причине того, что $F_L >> F_E$. На верхних и нижних краях облаков (•*2*), где созревают разряды молний (*А*), силы, действующие на заряды со стороны МПЗ и со стороны электрического поля разделенных, а также наведенных зарядов совпадают по направлению, тем самым облегчают пробой воздуха

молнией. Этим самым объясняется пробой воздуха молнией при более низких напряжениях электрического поля, чем экспериментально установленных пробойных [8, 12]. Напряженности этих предгрозовых полей разделенных и наведенных зарядов на порядки выше средней напряженности ЭПЗ [3, 6, 7, 12]. В почве под кучевыми и грозовыми облаками (•*3*), где электропроводность намного выше атмосферного, также как в предыдущем случае, наблюдается совпадение направлений сил, действующих на заряды, причем на отрицательные заряды действуют силы направленные вниз по вертикали, а на положительные – вверх. Этим объясняется образование на поверхности Земли под облаком участка с положительным зарядом. Отрицательные заряды под действием сил МПЗ и ЭП разделенных зарядов нижней части облака отступают вглубь почвы. В земной поверхности под ясным безоблачным небом (•*4*) нет причин возмущающих ЭПЗ, и поэтому, имеется отрицательный заряд, так как Земля содержит в себе избыток отрицательного заряда, а верхние слои атмосферы (ионосфера) – избыток положительного [8, 14, 15, 16]. Наконец над облаком в нижней части ионосферы (•*5*). Под действием ЭП облака положительные заряды отступают, и образуется круговая изогнутая вниз область наведенных отрицательных зарядов. Механизм в окрестности точки•*5* зеркально подобен механизму в окрестности точки •*3*, но состояния веществ разные (ионосфера и почва). В момент, когда подготовленный и назревший грозовой разряд облако-земля произойдет и внесет часть отрицательного заряда облака в землю и взаимно удерживающая электростатическая сила противоположных зарядов облака (доселе уравновешенная с силами Лоренца) уменьшится, часть положительных зарядов верхушки облака, под натиском сил Лоренца вынуждена уйти в ионосферу, пробивая верхнюю атмосферу путем РВА. Мы полагаем, что молнии облако-земля, вносящие в землю положительный заряд и внутри облачные молнии, не приводят к возникновению РВА, т.к. не нарушают уравновешенность сил, действующих на заряды облака. Таким образом, грозы и РВА есть местное вторичное явление, проистекающее в пределах неоднородности в атмосфере (в облаке), под влиянием магнитного и электрического полей Земли. Этот процесс подробно описан в работах [10–13, 15, 16], где также описывается периодичность и цикличность изменений МПЗ. Важно знать, какие изменения ожидаются в грозовой деятельности Земли при периодичности и цикличности изменений МПЗ? В настоящее время на поверхности Земли и в околоземном пространстве наблюдается процесс, предшествующий инверсии, то есть спад МПЗ, так как главной причиной грозовой деятельности является процесс разделения зарядов в облаках, а он, по нашему мнению, возможен лишь при наличии МПЗ. Следовательно, вслед за спадом МПЗ последует и спад грозовой деятельности в атмосфере. И в переходный инверсионный период,

когда в околоземном пространстве значение МПЗ спадет до нуля [10,13], грозовая деятельность на Земле также прекратится. После инверсии на околоземном пространстве МПЗ и ЭПЗ сменят направление на противоположное, и начнет постепенно расти. Грозовая деятельность также будет расти после этого процесса. Процесс разделения зарядов в облаках также подвергнется инверсии, так как сила Лоренца сменит направление на 180^0, то есть разделение зарядов в облаках становится зеркально противоположным, и большинство гроз будут вносить в Землю положительный заряд, а ионосфера будет содержать избыток отрицательного заряда. Механизмы зарядки облаков, разрядов молний и РВА подробно описаны нами в работах [15] и [16] соответственно.

3. Тектонические явления.

При тектонических явлениях, в частности при подготовке тектонических землетрясений, выявлено и зарегистрировано практически местные изменения и возмущения магнитного, элетрического, электромагнитного поля. Работы группы ученых в конце XX века показали, что эти местные изменения и возмущения электромагнитного поля Земли, скачкообразные аномальные деформации горных пород перед тектоническими горными ударами и землетрясениями могут использоваться в качестве надежных предвестников для краткосрочного прогноза геодинамических событий, в частности сильных тектонических землетрясений [18,19]. Исследователям геологам, геомеханикам, сейсмологам и геофизикам в XXI веке предоставляется широкое поле деятельности по выяснению природы влияния геодинамических событий на МПЗ и ЭПЗ в ближайшей перспективе в свете накопленных новых знаний.

Выводы.

1. Предлагаемый в данной работе механизм генерации МПЗ, ЭПЗ и других взаимосвязанных с ними явлений снимает противоречия в объяснениях многих экспериментальных фактов, накопленных многолетними трудами целого ряда ученых мира.
2. Применение предложенного механизма для объяснения МПЗ и ЭПЗ показывает, что при правильном учете структурных и электромагнитных особенностей вращающейся Земли, все ранее необъяснимые аспекты МПЗ, такие как западный дрейф, наклон оси, аномалии и др., и ЭПЗ легко объясняются с единой позиции и в соответствии с законами современной электродинамики, а также являющееся камнем преткновения на пути исследователей инверсии и цикличность МПЗ становятся неотъемлемой ступенью развития электромагнетизма Земли.
3. Предложенный механизм генерации МПЗ и ЭПЗ применим для всех вращающихся вокруг собственной оси небесных тел (планет и Солнца), имеющих электропроводящие слои или ядра.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гильберт В.* О магните магнитных телах и о большом магните – Земле, новая физиология, доказанная множеством аргументов и опытов: Пер. с англ. в 6 книгах – М.: Изд. АН СССР, 1956.–416 с.
2. *Касьяненко Л. Г., Пушков А. Н.* Магнитное поле океан и мы: – Л.: Гидрометеоиздат, 1987, 192 с.
3. *Хаббард У.* Внутреннее строение планет:– М.: Мир, 1987. 327с.
4. *Белов К. П., Бочкарев Н. Г.* Магнетизм на Земле и в космосе: – М.: Наука, 1983–192 с.
5. *Филиппов Е. М.* Популярно о геофизике: – Киев: Наук. думка, 1989.–164 с.
6. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике: часть 5. Электричество и магнетизм.– М.: Мир, 1977.–300 с.
7. *Кузнецов О.Л., Каляшин С.В.* Введение в геофизику. - **М:** РАЕН: Дубна: Университет «Дубна». 2011.—273 с.: илл_, табл.
8. https://ru.wikipedia.org/wiki/Молния.
9. *Парселл Э.* Электричество и магнетизм: Пер. с англ. – М.: Наука, 1983. – 416 с.
10. *Омуркулов Т.А.* Сущность магнитного поля Земли: Вестник Иссык-Кульского университета № 25: – Каракол 2010. с. 7 – 15.
11. *Омуркулов Т.А.* Сущность магнитного и электрического полей Земли. Известия КГТУ №28: – Бишкек: 2013, с. 491–495.
12. *Омуркулов Т.А.* Явление генерации и непрерывного инверсионно-циклического развития собственного магнитного и электрического полей проводящих тел. Известия НАН КР №2. – Бишкек: ИЛИМ, 2015, с 35–39.
13. *Омуркулов Т.А., Тажибаев К.Т.* Альтернативный механизм генерации магнитного и электрического полей Земли и других небесных тел. НАН КР Материалы 1го международного симпозиума. – Бишкек: 2016, с225–232.
14. Молния — Википедия: http://ru.wikipedia.org.
15. *Омуркулов Т.А. и др.* Грозы как составная часть генерации глобального электрического и магнитного полей Земли. *Вестник* Иссык-Кульского университета *№35: – Каракол: 2013, с. 5–9.*
16. *Тажибаев К.Т., Омуркулов Т.А.* Разряды в верхней атмосфере как составная часть процесса земного электромагнетизма. Современные проблемы механики сплошных сред. ИГиОН, НАН КР: – Бишкек 2015, с. 132–138.
17. *Савельев И.В.* Курс общей физики: т. 2. – М.:Наука, 1982. 496 с.
18. Кочербаев Т.К., Токтосопиев А.М. Изменения естественного импульсного электромагнитного излучения перед Жаланаш-Тюпским землетрясением 1978 года. Пржевальский пединститут. 1982. 10 с. Деп в ВИНИТИ. № 4706-82.
19. Тажибаев К.Т. Деформация и разрушение горных пород:, Фрунзе: «Илим» 1986. –106 с.

УДК– 622.284.74 (574.3)

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГО-ГЕОНОМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТИПИЗАЦИИ ГЕОРИСКОВ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КЫРГЫЗСТАНА

П.Б. Туркбаев
Институт горного дела и горных технологий им акад. У. Асаналиева, Кыргызская Республика, г. Бишкек

В статье рассмотрены особенности распространения каменных и бурых углей на территории Кыргызстана. Показано, что Кыргызстан горная страна и геодинамически, сейсмически активная. Составлены первые инженерно-геолого-геономические карты типизации и прогноза георисков от актуотектонических движений трансформирующих угольные бассейны и месторождения. Инженерно геологические и геономические карты позволяют выявить воздействия современных движений на устойчивость горных выработок при освоении углей и снизить риски бедствий на рудниках и шахтах Кыргызстана.

Ключевые слова: георискы, инженерная геология и геономия, угольные бассейны, типизация, современные движения, бурые и каменные угли.

КЫРГЫЗСТАНДЫН КӨМҮР КЕНДЕРИ ҮЧҮН ИНЖЕНЕРДИК-ГЕОЛОГИЯЛЫК-ГЕОНОМИЯЛЫК ГЕОТОБОКЕЛДИКТЕРДИ ТИПТЕШТИРҮҮ ШАРТТАРЫ

П.Б. Туркбаев
Академик У. Асаналиев атындагы тоо-кен иштери жана технологиялары институту, Кыргыз Республикасы, Бишкек ш.

Макалада Кыргызстандын аймагындагы күрөң жана таш көмүр кендеринин жайгашуу өзгөчөлүктөрү каралды. Кыргызстандын тоолуу өлкө жана геодинамикалык, сейсмикалык жактан активдүү экендиги көрсөтүлгөн. Биринчи жолу актуотектоника кыймылдан пайда болгон көмүр кендердин жана бассейндердин инженердик-геологиялык-геономикалык геотобокелдиктерди божомолдоо жана типтештирүү картасы түзүлгөн. Рудниктер үчүн түзүлгөн инженердик-геологиялык жана геономиялык карталар көмүр кендерин иштетип жаткан мезгилде азыркы учурдагы жер кыймылдарынын таасирин аныктоого мүмкүнчүлүк

берет жана Кыргызстандын шахтыларындагы кырсык коркунучун азайтууга көмөк көрсөтөт.

Түйүндүү сөздөр: геотобокелдикдер, инженердик геология жана геономия, көмүр бассейндери, типтештирүү, азыркы учурдагы жер кыймылдары, күрөң жана кара көмүр.

ENGINEERING GEOLOGICAL AND GEONOMICAL CONDITIONS FOR THE TYPIFICATION OF GEORISK FOR COAL DEPOSITS IN KYRGYZSTAN

P.B. Turkbaev
Institute of mining and mountain technologies of a name of academician U.Asanaliev, Kirghiz Republic, Bishkek

The peculiarities of the distribution of stone and brown coals in the territory of Kyrgyzstan are considered in the article. It is shown that mountainous Kyrgyzstan is geodynamically and seismically active country. The first engineering geological and geomonomic maps of typification and forecasting of georisks from the actuotectonic movements transforming coal basins and deposits are made. Engineering geological and geological maps identify the impacts of modern movements on the stability of mine workings with the development of coal and reduce the risks of disasters in the mines of Kyrgyzstan.

Key words: Geoscratches, engineering geology and geonomy, coal basins, typification, modern movements, brown and mineral coals.

Введение

Угли являются стратегическим сырьем страны и требуют междисциплинарного исследования особенностей их формирования, особенно георисков природного и техногенного характера проявляющихся при их освоении. На приведенной карте углей Мира месторождения Кыргызстана представлено одной «точкой»[1].

Однако при составлении карты врезки и укрупнения масштаба карты углей Мира в Кыргызстане имеются значительные запасы каменных и бурых углей, которые в условиях горной страны подвержены при их освоении воздействию опасных процессов и явлений (Рис.1) [1-10]. Несмотря на проблемы экономики и отсутствия современной технологии добычи угля, угольная промышленность в настоящее время является основным энергоресурсом в Кыргызской Республике. Более 50% бурых и каменных углей Средней Азии находится на территории республики. На территории Кыргызстана известны 70 месторождений объединенных в 4 угольных бассейнов: 1. Южно-Ферганский; 2. Узгенский; 3. Северо-Ферганский; 4. Кавакский, а также 4 угленосных района: 1. Алайский, 2. Алабука-Чатыркельский; 3. Южно-Ысык-

Кульский; 4. Восточно-Чуйский, где промышленной угленосностью обладают преимущественно отложения юрского возраста [1-6].

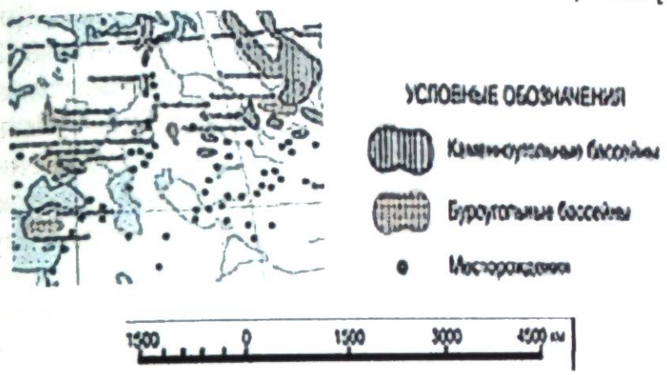


Рис. 1 Карта месторождений каменных и бурых углей Мира и расположение угольных объектов Кыргызстана.

Методика решения проблемы, заключатся в сборе, анализе, систематизации и обобщении данных об углях Кыргызстана, их картирования, выявления георисков природного генезиса для их типизации в целях снижения рисков бедствий при их освоении. Наряду с методами инженерно-геологического, горно-геологического и рудничного подходов в исследовании была использована методология инженерной геономии, позволяющей на основе интегрирования различных тематических и аналитических карт составлять ИГН карты типизации и прогноза георисков природного и техногенного генезиса.

Результаты исследований

На составленной впервые для месторождений углей ИГГН карте видно, что на территории страны распространены 7 бассейнов распространения бурых и каменных углей различного возраста (Рис.3) [1-6].

Южно-Ферганский буроугольный бассейн прослеживается в северных предгорьях Туркестанского и Алайского хребтов, в пределах которого расположены месторождения: Сулукта, Шураб, Шуранская группа, Учкоргон, Кызыл-Кыя, Бешбурхан, Абшыр, Жатан, Алмалык и ряд углепроявлений [3].

Северо-Ферганский каменноугольный бассейн расположен в предгорьях Ферганского и Чаткальского хребтов. На дневную поверхность они выходят в краевых частях Нанайской и Карасуйской депрессий месторождения: Кара-Тыт, Ташкомур, Майлу-Су, Кара-Тыт, Тегене, Ходжа-Ата, Падыша-Ата, Сары-Челек. Для месторождений бассейна характерен пестрый литологический состав угленосных отложений, а также различная степень угленасыщенности разреза [3].

Узгенский каменноугольный бассейн с севера ограничено хребтом Суран-Добо, являющийся одним из западных отрогов

Ферганского хребта. На территории бассейна расположены следующие месторождения и углепроявления: Алдыжар и Кок-Янгак, Кульданбес, Кумбель, Зындан, Таржылга, Торгой-Дёбо, Каргаша, Туюк, Кок-Кия, Кара-Дёбо, Бештерек, Чытты, Аксур, Сурташ, Сокуташ и Минтеке [3].

Кавакский буроугольный бассейн ограничивается с запада р. Кокомерен, с востока озер. Сон-Кол, с юга хребтом Молдо-Тоо и с севера - хребтом Кавактоо и представлены месторождениями: Кара-Кече, углепроявление Донуз, расположенные в Кара-Кечинской впадине и Минкуш, Кок-Мойнок, Кашка-Су, Сары-Камыш, Кара-Чаули в Кок-Мойнокской впадине [3].

Алайский угленосный район расположен между хребтами Алайским на севере и Заалайским на юге, где известны месторождения и углепроявления с различной степенью изученности: Кызыл-Айрык, Норус-Кол, Бел-Алма-Западный, Кашкасу, Кожокелен, Кара-Кабак, Коксу, Загара, Сары-Могол и др. [3].

В Алабука-Чатыркельском угленосном районе имеются месторождения (углепроявления) Аксай, Турук и Торугарт [3].

В Южно-Ысык-Кульском угленосном районе в юрских отложениях прослеживаются по южному берегу оз. Ысык-Куль, 2 месторождения: Согуты, Жыргалан и 2 углепроявления: Суттубулак и Жеркес [3].

Восточно - Чуйский угленосный район выделяется вдоль государственной границы Кыргызской Республики с Республикой, Казахстан по берегу реки, Чу, где по геофизическим данным на территории Казахстана имеется месторождение угля Благовещенское. Большинство выделенных 11 перспективных площадей попадают на территорию Республики Казахстан с глубиной залегания палеозоя в 250 м. Перспективные площади на территории Кыргызской Республики залегают на глубине от 250 м до 500 м. [3].

Далее приведены характеристики ряда репрезентативных угольных месторождений Кыргызстана.

Буроугольное месторождение Алмалык, Кызыл-Кыйского буроугольного района, Южно-Ферганского бассейна расположен у подножия северного склона хребта Жалгыз-Арча. Месторождение делится на две угленосные площади: Западную, или собственно Алмалыкскую, и Восточную, или Донгуз-Даванскую. Запасы угля участка Восточный пригодны только для подземной отработки. В геологическом строении месторождения Алмалык принимают участие разнообразные комплексы горных пород палеозоя (силура, девона, карбона), мезозоя (юры, мела) и кайнозоя (неоген-четвертичные) [3, 5, 6].

Юрские отложения представляют собой чередование грубообломочных пород с глинисто-углистыми породами и углями. По возрасту отнесится к нижней юре - условно к нижнему лейасу. Юрские отложения условно делятся на три свиты (снизу вверх): подугольную, угленосную, надугольную. К подугольной свите отнесена нижняя часть

разреза не содержащая пластов угля. Угленосная свита представляет собой чередование слоев угля мощностью от 0.1 м до 9.11 м с прослоями глинисто-углистых пород, серых глин, содержащих окатыши, глин темно-серого цвета размером 6-7мм и алевролита. Угленосная свита вскрыта разрезом "Алмалык" на полную мощность, которая колеблется от 8 до 124 м. По возрасту образования угленосной свиты, относят к верхнему лейасу-доггеру.

Алмалыкское месторождение представляет собой ассиметричную синклиналь широтного простирания, расширяющуюся с запада на восток. Алмалыкский надвиг амплитудой 400-450 м ограничивает с юга угленосную площадь. Силурийско-девонские породы, вследствии надвига, в некоторых местах надвинуты на мезозойские и каменноугольные известняки. Плоскость надвига волнисто падает на юг под углами 35-70°. Амплитуда надвига 7 м, плоскость смещения пологая - 10°, протяженность 80 м. Угленосность месторождения, связана с нижней частью юрских отложений. Промышленная угленосность приурочена к верхней части угленосной свиты. На месторождении угольные пласты делится на «Основной» ввиду его промышленного значения и «Нижний", который распространен в нижней части угленосной свиты. Пласт угля "Основной" приурочен к Алмалыкской синклинали, количество угольных пачек доходит до 53, при их истинной мощности от 0.04 м до 17.4 м. Средняя мощность пласта в составляет 23.6 м при мощности чистого угля 14.0 м. Глубина залегания пласта от дневной поверхности до 1000 м. Общая мощность пласта изменяется от 1.52 до 104.69 м. [3, 5, 6].

Общее уменьшение мощности пласта и ухудшение его качества происходит в восточном направлении. По внешнему виду угли месторождения подразделяются на две группы: блестящие и полублестящие, матовые и полуматовые. Цвет угля черный с бурым оттенком, цвет черты черно-бурый. Излом неровный, у блестящих разностей - раковистый. Механическая прочность добытого угля резко падает при хранении на воздухе. В штабелях уголь быстро разлагается в штыб. Уголь самовозгорающийся, критическая температура самовозгорания около 120°. На месторождении подземные пожары от самовозгорания угля в бывшей штольне "Алмалык", а также при хранении в штабелях и отвалах были обычным явлением. При высоте штабеля до 2.5-3.0 м возможный срок хранения угля до самовозгорания достигает 1-1.5 месяцев. Угли месторождения по элементному составу являются типично бурым с несколько пониженным содержанием азота, высокозольный с низким выходом концентрата [3, 5, 6].

В пределах Алмалыкского месторождения распространены 4 водоносных горизонта - палеозойский, юрский, меловой и неоген-четвертичный. Подземные воды палеозойского горизонта имеют повсеместное распространение. Подземные воды юрских отложений

приурочены к конгломератам, гравелитам, песчаникам, углям, распространены повсеместно. Верхним водоупором в юрском водоносном комплексе являются алевролиты и глины надугольной свиты мощностью от 4.0 до 37.0м, нижним - нижнеюрские глины, алевролиты. Юрские водоносные горизонты принимаются как единый водоносный комплекс. Воды юрского водоносного комплекса напорные. Питание подземного потока инфильтрационное. Движение подземных вод происходит в сторону действующего разреза. Разгрузка его приурочена к бортам разреза и к зонам тектонических нарушений[5, 6].

Подземные воды палеозойского и юрского отложений не представляют угрозы в обводнении карьера, но но наличие напоров требуют учета этого фактора при расчете устойчивости бортов. Подземные воды меловых отложений приурочены к мелкозернистым песчаникам, гравелитам, конгломератам. Распространены они повсеместно. Мощность пород мелового возраста по данным разведочных работ составляет в среднем 100 м с нарастанием с северо-запада на юго-восток и достигает 210 м. Воды безнапорные. Питание водоносного горизонта местное-инфильтрационное. Разгрузка подземных вод происходит в сторону карьера и по тектоническим нарушениям в более глубокие горизонты. Подземные воды неоген-древне-четвертичных отложений приурочены к гравелитам, конгломератам, песчаникам и песчаным глинам с прослоями песчаника, мощность этих отложений не выдержана, в среднем составляет 35 м. Воды безнапорные. Средний коэффициент фильтрации 0.004 м/сут. Подземные воды в пределах карьерного поля приурочены к аллювиально-пролювиальным и делювиальным образованиям саев. Мощность этих отложений составляет 10-11м. Водовмещающими породами являются мелкий гравий с примесью песчано-глинистого и щебенистого материала. Уровень подземных вод изменяется в пределах от 0 до 10м от поверхности земли. Питание грунтовых вод инфильтрационное, за счет атмосферных осадков [5-7].

Поток грунтовых вод современных четвертичных отложений направлен вдоль саев, имеющих сток в соответствии с рельефом местности в сторону карьера. По мере удаления на север, северо-запад грунтовый поток разгружается по трещинам в нижележащие породы. В верхних течениях саев имеет место выклинивание грунтовых вод современных четвертичных отложений на дневную поверхность. Дебиты родников составляют 0,05 л/сек. Для отвода вод поверхностного стока от карьера сооружены водоотводящие канавы. Поверхностный сток от ливневых дождей этими канавами перехватывается. Но русловый поток в количестве до 10-15м^3/час в Алмалыксае теряется, не доходя до водосборной канавы. Дреной при этом являются трещины в зоне Алмалыкского надвига, проводящие воды поверхностного стока в более

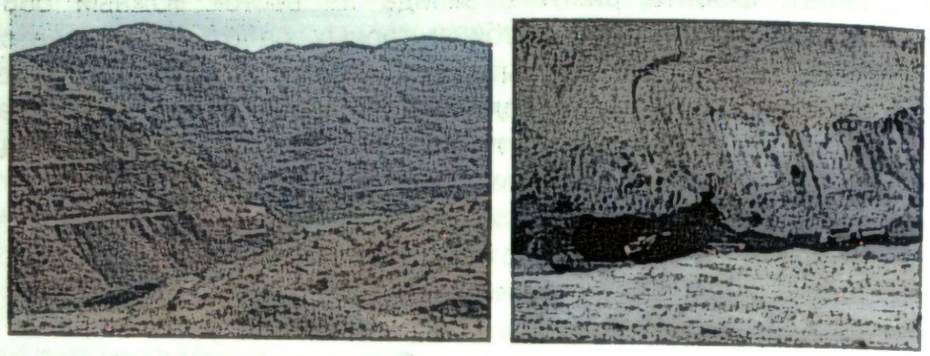
глубокие горизонты. Фактический среднегодовой приток воды в разрез "Алмалык" за 1980г. составляет 9.63 м^3/час. [5-6].

Результаты расчетов устойчивости показали, что дальнейшую отработку месторождения следует вести поперечным способом с перемещением фронта работ с запада на восток. Южный борт в зависимости от предельной глубины горных работ отстраивается с углами заоткости 51-25^0. Северный борт в нижней части заоткашивается по почве угольного пласта параллельно наслоению, а в верхней части на горизонтах 1030-1140 под углами 22-38^{0}30'. Борт в юго-западной части карьерного поля заоткашивается под углом 17^{0}30', в северо-восточной - по палеозойским отложениям. Уступы высотой 15м в палеозойских отложениях и изотропных породах мезо-кайнозойского возраста заоткашиваются под углом 80-85^0, в подугольных - при падении слоев в сторону выработанного пространства под углами свыше 12^0 уступы заоткашиваются по наслоению. В западной, отработанной части разреза "Алмалык" рекомендуется отсыпать до 2.7млн.м^3 внутренних отвалов. При эксплуатации проявлялись деформация бортов разреза. на западном и южном бортах возникли крупные оползни. Оползень западного борта разреза возник в 1968 г., на участке протяженностью около 300 м. Трещины закола располагались на расстоянии 60-65 м от контура разреза. Оползень захватил борт разреза на всю высоту: от горизонта +1355м до 1265 (подошва разреза). Угол наклона борта разреза до оползни был 42^0. Согласно подсчетам маркшейдерской службы, общий объем оползших пород составил около 750 тыс.м^3 [5-7].

Основными причинами возникновения оползня на разрезе являются, подрезка горными работами слабого контакта в серых глинах, падающего в сторону горных работ под углами 15-25^0; просачивание в борт разреза воды, поступающей из сая, расположенного на южном борту разреза. Обследование оползня показало, что подземные воды, высачивающиеся в сай и стекающие в дренажную канаву, пройденную вдоль южного борта разреза, инфильтруются в четвертичные отложения и попадают на поверхность скольжения, что являлось одной из причин возникновение оползня. В настоящее время, из-за увеличения объема вскрышных пород и других причин, рассматривается вопрос добычи угля подземным способом (Рис. 2) [5-7].

Возможные **георискы** при освоении Сулюктинского буроугольного месторождения расположенного на западе Южно-Ферганского буроугольного бассейна, в виде узкой полосой в северных предгорьях Туркестан-Алайского сектора Южного Тянь-Шаня. Угленосные отложения месторождения вытянуты узкой полосой 1-4 км в широтном направлении на протяжении 30 км. Площадь месторождения представляет собой долину тектонического происхождения. Поверхность ее сильно всхолмлена и пересечена долинами саев.

В геологическом строении месторождения принимают участие породы палеозойского, мезозойского и кайнозойского возрастов. Угленосность каракиинской свиты выражается наличием линзообразного прослоя угля мощностью до 0.20 м и прослоем углистых аргиллитов.



Месторождение Алмалык
а.

Месторождение Кара-Киче
б

Рис. 2. Георискы водного (а) и склонового (б) генезиса

В основании Сулюктинской свиты лежат конгломераты, а кровлей служат глинистые породы, к циклам которой приурочены пласты угля. Мощность свиты колеблется от 8- до 165 м. Промышленная угленосность связана с сулюктинской свитой нижней юры. Угленосные отложения сулуктинской свиты делятся на 5 (В, С, Д, Е, Ф) ритмов. Пласты угля приурочены к глинистым частям ритмов. Пласт угля "в" присутствует в Хорасанской и Кокинесайской площадях.

Пласт "Ф" залегает в верхней части свиты и прослежен по простиранию на 22 км и по падению через всю Сулюктинскую депрессию. Он является основным объектом эксплуатации. Пласт имеет непостоянное строение, и мощность колеблется от 0.1 до 18.0 м. Преобладающая мощность пласта 5-7 м.

Механическая прочность добытого угля резко падает при хранении на воздухе. В штабелях уголь разлагается в штыб. Растрескивание происходит за счет отдачи влаги, чему способствуют высокие летние температуры и низкая влажность воздуха. Особенно усиливается разрушение угля при повторных увлажнениях.

Подземные воды палеозойских, юрских, меловых и неоген-палеогеновых отложений дренируются и выходят на поверхность. Палеозойские источники приурочены к зонам разломов по бортам депрессии, отдельные из них имеют расход до 8.5 л/сек, воды пресные.

Разработка месторождения производится подземным способом, на участке Восточной и открытым способом на разрезе Кызыл - Булак. Большая глубина разработки пласта 400-500 м от дневной поверхности, наряду с сильным горным давлением вызывает возникновение горных ударов, в виде отстрелов и микроударов, образующие купола

значительных размеров. Угли опасные по самовозгоранию. Угольная пыль является взрывоопасной. Вмещающие породы содержат свободную двуокись кремния в количестве от 34 до 79% и являются силикозоопасными. В результате оползней в рельефе местности наблюдаются обширные циркообразные понижения и аккумулятивные бугры. К факторам вызывающими георискы на месторождение можно отнести значительную мощность пласта угля, вызывающую необходимость выемки его слоями; наличие на отдельных участках большого количества прослоев пустой породы и ложной кровли; опасность по взрыву угольной пыли; склонность угля к самовозгоранию; силикозоопасность вмещающих уголь пород; наличие в почве пласта аргиллитов, склонных к пучению._При освоении месторождения в результате нарушения устойчивости бортов карьеров, подрезки склонов, ведения взрывных работ, вскрытия грунтовых вод, отчуждения земель, разгерметизации защищенности подземных вод в зоне влияния добычной выработки индуцируются георискы [5-7].

Месторождение угля Кок-Кыя Узгенского угольного бассейна на месторождении Кок-Кыя в геологическом строении площади принимают участие образования палеозойского, позднетриасово (рэт) – юрского и четвертичного возрастов. Угленосность приурочена к нижнеюрским отложениям. В восточной части площади наблюдаются более крутые (до 30°) падения слоев туюкской свиты нижние пласты угля в разрезе находятся в 190-210 м от подошвы свиты, верхние пласты угля залегают в 40-50 м ниже ее кровли. Мощность свиты в центральной и в восточной части площади составляет около 800 м, а в западной части - 400-500 м. Пласты угля по простиранию не выдержаны, а по мощности на расстоянии 70 м мощность пласта может меняться от 10 до 70 см. Угленосные пласты на площади выклиниваются в восточном направлении. Угли на изученной площади в различной степени окислены, при выходе на поверхность превращены в порошкообразную массу. В петрографическом отношении угли представлены в основном 2 типами: блестящими однородными и блестящими комплексно-полосчатыми. По внешнему виду ряд углей похожи на кокс [3, 5-8].

К георискам природного характера относятся: а) относительно большая мощность пласта угля, вызывающая необходимость выемки его слоями; б) наличие на отдельных участках большого количества прослоев пустой породы и ложной кровли; в) силикозоопасность вмещающих уголь пород; наличие в почве пласта аргиллитов, склонных к пучению; образование оползней [5-8].

В связи с этим при разработке месторождения не рекомендуется принимать длину выемочных столбов слишком большими (не более 400-500 м); г) возможность затопления шахт высока. Приток подземных вод в горные выработки доходит до 40 $м^3$/час. Особую опасность представляют прорывы грунтовых вод в связи с наличием подземных

водоемов; д) невысокая крепость (f<8) надугольной толщи пород обуславливает возможные провалы поверхности. Провалы поверхности влекут образование глубоких трещин, через которые открывается доступ воздуха к залежи, что создает дополнительные условия к возникновению подземных пожаров [5-7].Вышеприведенные данные показывают, что месторождения углей сопряжены с воздействием георисков природного характера, а также при добыче возникают техногенные опасные процессы и явления, для выявления которых проведено ИГГН картирование [5-8].На рисунке 3 приведена составленная «Инженерно-геолого-геономическая карта типизации и прогноза возможных георисков при освоении угольных месторождений Кыргызстана». Из данной интегрированной карты составленной на основе объединения видно, что угли Кыргызстана в отношении их размещения по геолого-структурным зонам распределены следующим образом: а. в Северном Тянь-Шане расположены месторождения Иссык-Кульского, Кавакского и Чуйского бассейнов; в Срединном Тянь-ШанеАлабука-Чатыркульский и северная часть Северо-Ферганского бассейнов; в Южном Тянь-Шане южная часть Северо-Ферганского, Узгенский, Южно-Ферганский, Алайский угольные бассейны. На составленной ИГГН карте видно, что по карте актуотектоники георискиприосвоении углей будут возрастать в направлении с северо-запада на юго-запад в субширотном направлении (Рис.3).

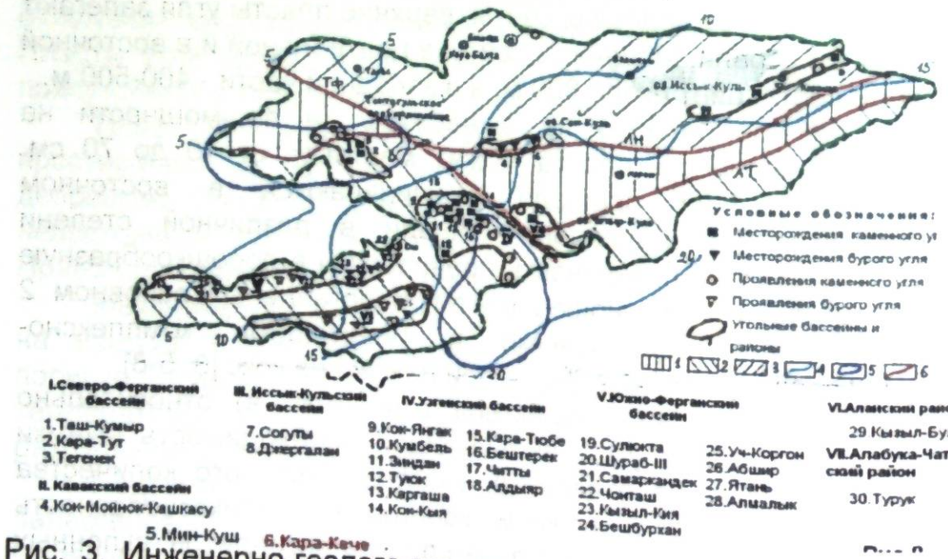


Рис. 3. Инженерно-геолого-геономическая карта типизации и прогноза возможных георисков при освоении углей месторождений Кыргызстана.

Центральная часть Южно Ферганского, западная половина Алайского, Чуйский и Северо Ферганский угольный бассейны расположены между значениями сжимающих движений от 5 до 10 мм/год, при этом Северо-Ферганский подвергается кручению внутри

овала выделенного фиолетовой линией по часовой стрелке; Восточная половина Алайского, западный край Узгенского, Кавакский Иссык-Кульский угольные бассейны и их месторождения углей находятся в зоне действий актуотектонических движений сжимающих с Север на юг с интенсивностью от 10 до 15 мм/год; юго восточный край Алайского, узгенский, Алабука-Чатыркульский, восточный край Кавакскогогугольных бассейнов расположены в условиях интенсивности актуотектонического сжатия со скоростями движений от 15 до 20 мм/год.

Из выше изложенной ИГГН типизации угольных бассейнов и их месторождений видно, что георискиВ каждой из них имеют прогностические особенности. При изучении угольных месторождений следует проводить мониторинговые работы по определению остаточных напряжений на бортах карьеров, и кроле и боковых поверхностях шахтного пространства, которые формируют механизм горных ударов и индуцированных землетрясений (Рис.3).

Исследования Айтматова И.Т. и др.(1987 г.) для горных стран в массивах грунтов выделены горизонтальные напряжения: 1. унаследованные от древних орогенических движений; 2. созданные современными тектоническими процессами; 3. обусловленные действием веса горных пород. Глубина тектонических горных ударов в горно-складчатых областях в 2 раза выше чем на древних щитах и варьирует от 450-500 м до 750-850 м. [19]. Наряду с выше приведенными данными, при типизации георисков необходимо учитывать достижения кыргызских ученых в области горной геомеханики имеющих теоретическое и практическое значение.

Явления скачкообразного освобождения остаточных напряжений в горных породах, позволили Айтматову И.Т., Тажибаеву К.Т. создать концепцию формирования очагов тектонических горных ударов и землетрясений, их обусловленности генетическими напряжениями [8, 9].

Установленная Тажибаевым К.Т. и его соратниками «Закономерность изменения относительной величины скорости прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны от механического напряжения в твердых материалах (Закон Кушбакали)» (Диплом № 453 на научное открытие от 3 октября 2013 года, г. Москва) позволяет оперативно определять напряжения горных пород удароопасных месторождений и сейсмоактивных регионов [10].

Выводы

1. В истории развития геологических структур в Кыргызской части Тянь-Шаня с геолого-структурных и тектонических позиций в исследуемом регионе промышленной угленосностью обладают преимущественно отложения юрского возраста.

2. Составлена ИГГН карта типизации и прогноза георисков для угольных бассейнов и месторождений углей Кыргызской Республики, позволяющая снизить риски возможных бедствий при их освоении.

3. Рекомендуется создавать сети мониторинга на угольных объектах Кыргызстана по измерениям напряжений как показателей высокого риска проявлений горных ударов и индуцированных землетрясений.

ЛИТЕРАТУРА

1.Едигенов М.Б., Усупаев Ш.Э., Маралбаев А.О., Туркбаев П.Б. Перспективы освоения месторождений полезных ископаемых Кыргызстана и Казахстана. Ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Горный журнал», №8 (2229), 2016, С.10-16.

2. Жумашева З.Н., Жумашева Ж.Н.,Туркбаев П.Б., Клименко Д.П. Угрозы от георисков на территориях освоения месторождений углеводородного сырья и нерудных полезных ископаемых Кыргызстана. Ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Горный журнал», №8 (2229), 2016, С. 76 – 84.

3. Солпуев Т. Угольные иесторождения Кыргызской Республики. Справочник. 2-е издание переработанное. Бишкек, 2010, с. 15-32

4. Едигенов М.Б., Усупаев Ш.Э., Атыкенова Э.Э., Шаршенов Б. Георискы, индуцированные добычей месторождений полезных ископаемых. Научный журнал. Вестник Института сейсмологии НАН КР, выпуск №1, 2014 г., С. 50 – 57.

5. Туркбаев П.Б. Исследование георисков при освоении нерудных месторождений полезных ископаемых Кыргызстана. «Современные проблемы и пути развития защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций» Сб. КРСУ. Б.: Айат. Бишкек, 2016. - 212 с.

6. Туркбаев П.Б. Возможные георискы при разработке Сулюктинского месторождения бурых углей. «Современные проблемы и пути развития защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций» Сб. КРСУ. Б.: Айат. Бишкек, 2016. - 216 с.

7. С.Б.Алиев, В.Ф.Демин, Б.Ж.Жетигенов., П.Б.Туркбаев Б. Технология анкерного крепления в подготовительных выработок угольных шахт/ 2017.196 с.

8. Айтматов И.Т. Геомеханика рудных месторождений Средней Азии. Изд-во «Илим». Фрунзе, 1987. 247 с.

9. Тажибаев К.Т. Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород. (Том.1) Бишкек. Алтын Принт-2016, 352 с.

10. Тажибаев К.Т. Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород. (Том.2). Бишкек: Алтын Принт-2016, 357 с.

УДК 550.34.01

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

Ж.Ш. Жантаев, А.В. Виляев, А.П.Стихарный
Институт ионосферы Национальный центр космических исследований и технологий 050020, Алматы, Казахстан

Представлена методика геодинамического районирования региона Северного Тянь-Шаня с использованием кластерного анализа. Рассматривается статистическая модель кластерной зональности территории по комплексу геофизических параметров и проведена интерпретация полученных результатов с позиции геодинамики.

Ключевые слова: земная кора, геодинамическое районирование, GPS мониторинг, кластерный анализ.

APPLICATION OF GEODYNAMIC ZONING AT ESTIMATION OF SEISMIC DANGERS

Zh.Sh. Zhantayev, A.V. Vilayev, A.P. Stykharny
Institute of Ionosphere National Center of Space Research and Technology 050020, Almaty, Republic of Kazakhstan

Method of geodynamic zoning in Northern Tien Shan region using cluster analysis is presented. A statistical model of cluster zonality of the territory is considered based on a complex of geophysical parameters. Interpretation of the received results from a geodynamics position is carried out.

Keywords: Earth crust, geodynamic zoning, GPS monitoring, cluster analysis.

Введение

Активное развитие геодинамических исследований в последнее время приводит к необходимости разработки новых методов обработки информации и прогнозирования литосферных процессов. На территории Северного Тянь-Шаня возможны и наблюдались землетрясения с магнитудой 8.0 и более. Такие сейсмические события, произошедшие здесь около ста лет назад, относятся к самым сильным в континентальной части Евразии за всю историю сейсмологических наблюдений. Вероятность повторения подобных катастроф весьма

высока в связи с продолжительным накоплением избыточных напряжений в земной коре. Этот фактор обуславливает создание и развитие метода геодинамического районирования с применением кластерного анализа исходных данных. Для осуществления такого анализа используется совокупность имеющихся геолого-физических данных.

Исходные данные

Исследования выполнены на территории Тянь-Шаньского региона в области ограниченной 42-46 градусами с.ш. и 75-80 градусами в.д. Исходные данные представлены в виде двумерной функции зависимости геофизических параметров от координат, а совокупность параметров – в виде вектора, построенного в пространстве использованных признаков, где каждая компонента соответствует определённому параметру. Таким образом, мерность вектора определяется количеством исходных параметров и может произвольно изменяться. Если для произвольной территории имеется набор карт (n), отражающих распределение a_n параметров, то мерность вектора равна n: $\vec{a} \equiv (a_1, a_2, \dots, a_n)$, а сам вектор является функцией двух переменных $\vec{a} = \vec{a}(x, y)$.

Для проведения математических преобразований параметры представлены в виде двумерной матрицы, каждое значение которой привязано к узлам двумерной сети шагом 0.01 градуса, соответственно значение исходного параметра $a = a(x, y)$; где x, y – географические координаты; $a_{ij} = a(x_i, y_i)$; где a_{ij} – значение в узле матрицы, имеющее координаты x_i, y_i.

Проведено предварительное нормирование данных и формализованное выделение наиболее информативных геолого-геофизических параметров и анализ их физической сущности. В работе использовались следующие параметрические данные:

- количество землетрясений на единицу площади (плотность) энергетического класса менее 8.5 за период наблюдений 1995-2015 гг. по данным каталога землетрясений Института Сейсмологии МОН РК;
- плотность землетрясений энергетического класса более 8.5 за тот же период наблюдений;
- выделившаяся сейсмическая энергия на единицу площади;
- амплитуды скоростей горизонтальных и вертикальных движений и их градиенты изменения по данным GPS-мониторинга на стационарных станциях Института Ионосферы и Института сейсмологии;
- амплитуда и горизонтальный градиент полного вектора аномального магнитного поля;
- амплитуда и горизонтальный градиент внутрикоровой составляющей поля силы тяжести;

- глубина залегания и горизонтальный градиент изменения глубины залегания поверхности Мохоровичича;
- амплитуда и горизонтальный градиент современных вертикальных движений земной коры по данным наземного геодезического нивелирования;
- градиент перепада высот поверхности по данным цифровой модели рельефа;
- амплитуда и горизонтальный градиент глубинного теплового потока.

Методика исследований

Математически задача решалась разбиением множества исследуемых объектов и признаков на однородные по определяемым параметрам группы или кластеры с целью выявления устойчивых сочетаний параметров. Кластер представляет группу объектов (в нашем случае область литосферы), обладающую свойством плотности или сходством свойств внутри кластера, которое выше чем вне его. Кластер может быть описан некоторым центром, дисперсией (эффективным радиусом) в пределах своих очертаний, имеющих форму гиперсферы, отделимостью от других кластеров [1]. Выделенные кластеры земной поверхности картировались для районирования территории и анализа.

В работе применена кластеризация по наиболее простому методу k-средних (k-means clustering), реализованному в программной среде STATISTICA. Начальная совокупность точек в многомерном пространстве разделена на группы схожих между собой объектов по 14 используемым для классификации параметрам. Далее вычислялась матрица расстояний между каждой парой объектов и подбирался алгоритм разделения на N-ое число кластеров [2]. Нахождение N выполнено путем тестирования классификации от N=5 до N=8.

Получена модель статистической кластерной картины Северо-Тянь-Шаньского региона, состоящая из устойчивых сочетаний использованных параметров. Дисперсионный анализ показал, что чем меньше значение внутригрупповой дисперсии и больше значение межгрупповой дисперсии, тем лучше признак характеризует принадлежность объектов к кластеру и тем «качественнее» кластеризация. Методом эксперимента было выбрано 5 значимых параметров из 14. На рис.1 представлены кластерные профили центральных значений параметров в безразмерных стандартизованных координатах. В кластерных сочетаниях участвуют значения каждого из отобранных параметров, отражающие практически весь главный диапазон значений.

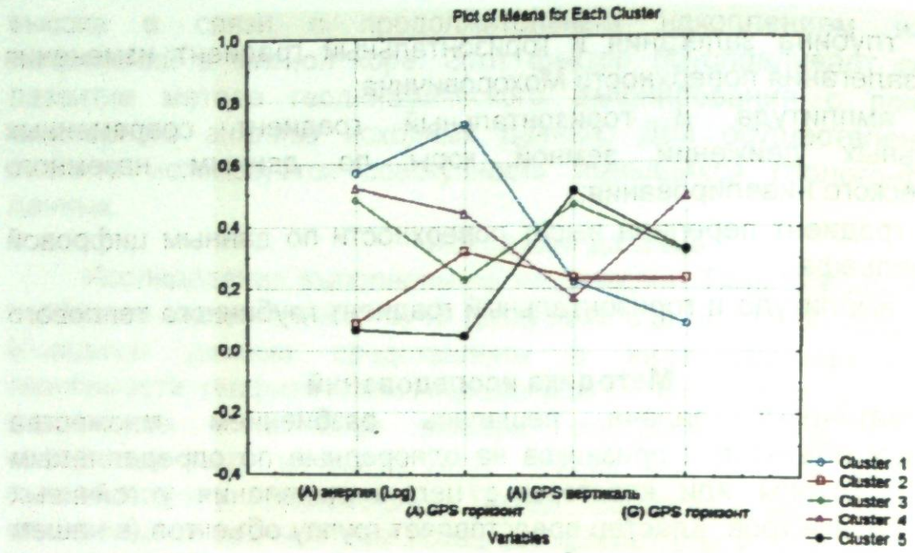


Рис.1. Кластерные профили центральных значений для 5-ти параметров

Полученное распределение сочетаний параметров, выбранных для геодинамического анализа отображено в виде карты. Каждой ячейке модельной сетки присваивается соответствующий номер и цветовое решение кластера (рис. 2).

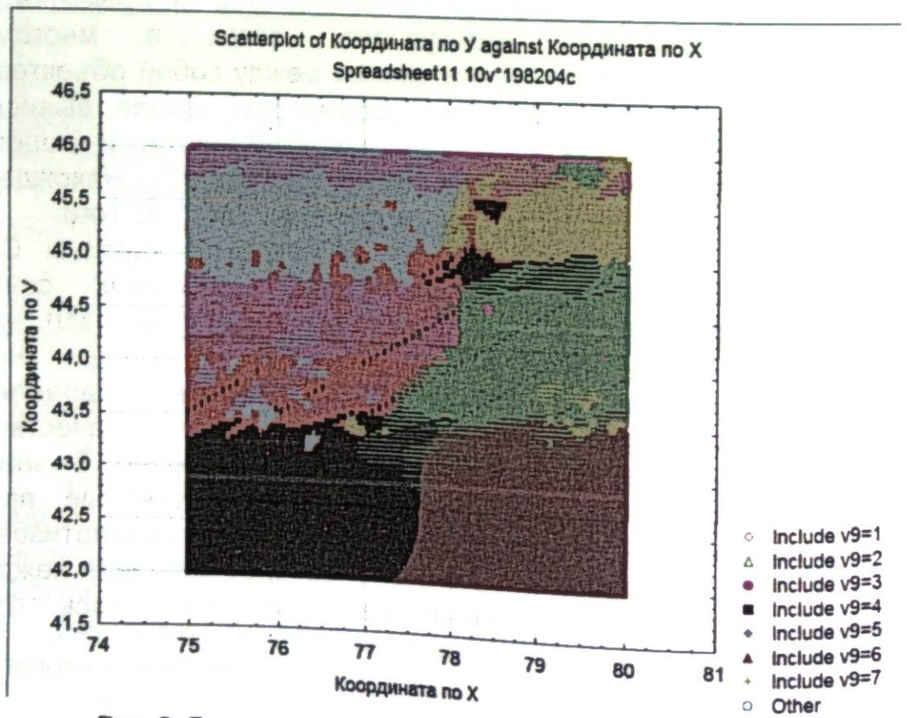


Рис. 2. Группы кластеров по главным структурным зонам.

Обсуждение

Критерием достижения результата является наличие физического обоснования и геологической сущности для различных признаков каждого кластера. Статистической обработкой выделены пять наиболее информативных параметров из многомерной выборки для геодинамической кластеризации территории. Это - суммарная выделившаяся энергия землетрясений, амплитуды современных движений поверхности по данным GPS-мониторинга, градиент изменения горизонтального вектора современных движений и градиент изменения рельефа поверхности Мохоровичича. Главные классификационные признаки каждой группы сведены в таблице 1. Значения даны для стандартизованной формы каждого параметра, состоящей в приведении их к виду с одинаковой размерностью с нулевым средним и единичным разбросом. Нормирование не производилось, что позволяет сравнивать значимость признака по кластерам.

Таблица 1. Комбинация главных параметров устойчивой кластеризации

Variable	CLUSTERS						
	1	2	3	4	5	6	7
(A) энергия (Log)	0.4440	0.5295	0.2585	0.5491	0.0500	0.5784	0.0871
(A) GPS горизонт	0.1642	0.4514	0.1154	0.5001	0.0473	0.8013	0.3297
(A) GPS вертикаль	0.4554	0.1595	0.4533	0.4544	0.5042	0.0994	0.2097
(G)Мохоровичич	0.1484	0.2375	0.5879	0.1603	0.1682	0.1606	0.1727
(G) GPS горизонт	0.3986	0.4776	0.4934	0.0850	0.2835	0.1039	0.2582

В результате расчетов сформирована схема статистической кластерной геодинамической зональности территории Северного Тянь-Шаня (рис.3) В соответствии со схемой выделена система блоков однородных в признаковом пространстве внутри и различающихся между собой извне. Границами блоков служат разломы различной глубинности.

По характеру геодинамической изменчивости формируются группы блоков:

- устойчивого режима - Балхашский (V), Саркандский (VII);
- динамичного режима – Алматинский (I), Джунгарский (II);
- повышенной энергетической насыщенности – Северо Тянь-Шаньский (IV), Юго-Восточный (VI);
- переходного режима – Каройский (III).

Группа блоков устойчивого режима (V,VII) характеризуется низкими значениями скоростных и энергетических параметров (табл.1). Относительно устойчивый Балхашский блок занимает центральную часть Южно-Прибалхашской впадины. Земная кора имеет субгоризонтальную слоистость.

Фундамент полого погружается по направлению к горным сооружениям. Мощность земной коры составляет 40-42 км [4]. Пространственно совпадает со стабильной частью Казахского щита Евразийской платформы. Саркандский блок расположен в юго-восточной части озера Балхаш, ограничен Таукумским разломом на севере и Алатайским на юге. Поверхность фундамента ступенчато поднимается на северо-восток. В пределах обоих блоков эпицентры землетрясений практически отсутствуют. Скорости горизонтальных движений поверхности, вычисленные по данным GPS- мониторинга, не превышают 2 мм/год.

Группа блоков динамичного режима (I,II) расположена в центральной части изучаемой площади, имеет субширотное простирание. Характерной деталью данной группы кластеров является высокая скорость горизонтальных и вертикальных движений поверхности по амплитуде и градиенту, а также однородность в проявлении сейсмических событий. На территории блоков расположены Алматинская и Илийская межгорные впадины. Фундамент блоков полого погружается с запада на восток.

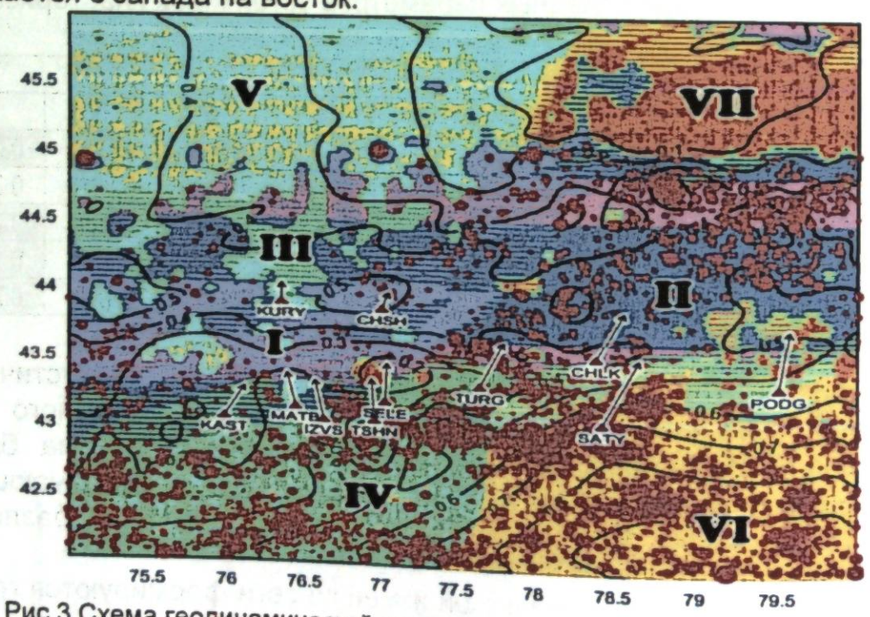


Рис.3 Схема геодинамической классификации территории Северного Тянь-Шаня методом кластерного анализа с эпицентрами землетрясений и векторами скоростей движения GPS станций.

Геодинамический смысл группы блоков повышенной энергетической насыщенности (IV,VI) заключается в наибольшей плотности выделившейся сейсмической энергии в этой области в сочетании с максимальными скоростями горизонтальных движений поверхности от 3.0 до 6,5 мм/год по данным GPS-наблюдений. В группе сосредоточено до 70% эпицентров всех землетрясений зарегистрированных в регионе. Группа включает горные хребты Заилиский Алатау, Кунгей и Терской Алатау с максимальными отметками высот до 7010м над уровнем моря (пик ХанТенгри).

Каройский блок (III), расположенный в центральной части и ограниченный на юго-востоке Алтын Эмельским разломом отнесен нами к области переходного геодинамического режима. Мощность коры - не более 40-45 км. Блок является южным продолжением Балхашского срединного массива [4], относящегося к стабильной части Казахского щита. Характерной особенностью блока является высокий градиент изменения глубины залегания поверхности Мохоровичича в сочетании с относительно высокими скоростями вертикальных смещений поверхности до 2 мм/год. Данное обстоятельство не позволяет отнести GPS станцию «Курты» к опорным, как это считалось ранее в геодинамических построениях.

Заключение

Выполненное районирование территории Северного Тянь-Шаня методом кластерного анализа позволило выделить четыре группы блоков характеризующих структуру литосферы. Полученные группы обладают статистически и геологически обоснованными геодинамическими особенностями. Исследования нацелены на обеспечение репрезентативного геодинамического контроля районов юга и юго-востока Казахстана, где возможно формирование очагов сильных землетрясений, представляющих угрозу населению и экономики региона.

Работа выполнена по РБП-076 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности, транспорта и коммуникаций» в рамках подпрограммы «Развитие технологий наземно-космического геодинамического мониторинга территории Казахстана» по теме «Разработать методологию исследования геомеханического состояния земной коры кризисных территорий с использованием спутниковых технологий и математического моделирования», Регистрационный номер (РН) 0115РК01281.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Халафян А.А.* STATISTICA 6: Статистический анализ данных // М.: Изд-во Бином, 2007. – 145 с.
2. *Соколов С.Ю., Соколов Н.С., Дмитриев Л.В.* Геодинамическое районирование литосферы центральной Атлантики по данным кластерного анализа геолого-геофизических параметров и данным о локализации главных петрологических типов базальтов // Russian-RIDGE Abstract volume. VII Okeangeologia. St. Petersburg, 2005. С 25-26
4. *Боровиков В.П.* Популярное введение в программу STATISTICA // М., 1998. – С. 52-57.
5. *Тимуш А.В.* Сейсмотектоника литосферы Казахстана // Алматы, 2011. 590с.

УДК 556.114:551.243 (235.21)

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГЕЛИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ (на примере южного Тянь-Шаня и Памира)

М.М. Закиров
Институт сейсмологии АН РУз. Ташкент, Узбекистан

Приведен анализ результатов гидрогеохимических исследований подземных вод и источников южного Тянь-Шаня и Памира по профилям Джиргаталь – Ишкашим и Гульча – оз.Зоркуль. Основываясь на гидрогеологические условия, тектонические зоны выделенные по схеме тектонического районирования южного Тянь-Шаня и Памира, описаны подземные воды и источники с различными концентрациями растворенного гелия и температуры. Исходя, из этого в подземных водах исследуемой территории выделены участки с низкими и высокими значениями гелия. Выявлены особенности, влияющие на изменение концентрации гелия в подземных водах южного Тянь-Шаня и Памира.

Ключевые слова: гелий, водопункты, гидрогеологические условия, подземные воды, деформация, распространение, формирование, миграция, земная кора, самоизливающие термальные воды.

FACTORS INFLUENCING THE FORMATION AND DISTRIBUTION OF HELIUM CONTENT IN GROUNDWATER OF SOUTHERN TIEN SHAN AND THE PAMIRS

M.M. Zakirov
Institute of Seismology of the Academy of Sciences of Uzbekistan. Tashkent, Uzbekistan

The analysis of the results of hydrogeochemical investigations of groundwater and sources of the southern Tien Shan and Pamir along profiles Jirgatal-Ishkashim and Gulcha-Zorkul Lake is given. Based on the hydrogeological conditions, the tectonic zones identified by the tectonic zoning scheme of the southern Tien Shan and Pamir, groundwater and sources with various concentrations of dissolved helium and temperature are described. Proceeding from this, areas with low and high helium values were identified in the underground waters of the study area. The features influencing the change in the concentration of helium in the underground waters of the southern Tien Shan and the Pamirs are revealed.

Гелий является одним из шести благородных газов (неон - Ne, аргон -Ar, криптон -Kr, ксенон -Xe и радиоактивный радон -Rn) в периодической системе элементов. Все эти газы были открыты в конце девятнадцатого века, а гелий обнаружил У.Рамзай в 1894г. в спектре газа, выделенного из минерала – клевеита. В 1895г. гелий был обнаружен в газах природных источников и в атмосфере Земли. Сейчас мы знаем, что природа вышеуказанных гелиев различна. За этим последовало систематическое изучение гелия в самых разных областях природы [1]. Во всех этих направлениях исследований особо велика роль растворенного гелия в подземных водах. Это составляет основной предмет научных изысканий авторов в этой статьи, и о них главным образом пойдёт речь.

Район исследований южный Тянь-Шань и Памир в настоявшее время привлекает к себе особое внимание обилием минеральных источников и геодинамическими процессами как горообразование. Установлено, что горы Южного Тянь-Шаня и Памира представляют собой крупные глыбы (блоки), поднятые внутренними силами Земли на максимальную высоту на нашей планете. Скальные, полускальные и ледниковые отложения явились основой разнообразных по генезису и строению водовмещающих пород водных источников. Они формировались в условиях активных тектонических процессов, высокой сейсмичности, криогенеза, с участием различных по проницаемости разрывных нарушений, в разнообразных палеогеографических обстановках и определили неоднородность водовмещающей среды [2,3,4]. Эти условия способствовали локальному распространению холодных и горячих источников подземных вод, содержащих гелий, сероводород и другие газы. Эти источники в настоящее время используются в лечебных целях. Наличие в этих водах растворенного гелия представляет огромный интерес для изучения как фундаментальных, так и прикладных особенностей подземной гидросферы. В связи с этим, весьма актуальным является более углубленное изучение распространения в подземных водах растворенного гелия.

Целью данной статьи является оценить особенности изменения концентрации гелия в подземных водах южного Тянь-Шаня и Памира.

В процессе выполнения поставленной цели в настоящей работе анализирован большой фактический материал по специальным гидрогеохимическим исследованиям, проведенным сотрудниками Института сейсмологии АН Уз в 1977-78гг. и 1988-89гг. в подземных водах южного Тянь-Шаня и Памира.

В пределах Памира и южного Тянь-Шаня гидрогеохимические исследования проводились по профилям от п.Гульча до оз. Зоркуль и от г.Ишкашим до г. Джиргаталь. Области проведения этих профилей различаются рельефом, условиями водообмена, дренированностью

подземных вод, тектоническими разломами, химическим составом водовмещающих горных пород.

По схеме тектонического районирования [4] выделяются четыре тектонические зоны Памира. Это северный, центральный, юго-восточный, и юго-западный Памир. Все зоны района исследований отделены друг от друга краевыми глубинными разломами субширотного простирания. Разломы, складчатые структуры и формы большинства магматических пород дугообразно изогнуты к северу [2,3,4].

Основываясь на вышеуказанных тектонические зонах южного Тянь-Шаня и Памира, мы ниже будем описывать источники подземных вод с различными концентрациями растворенного гелия и температуры в этих зонах.

Подземные воды южного Тянь-Шаня, главным образом приурочены к скальным породам. Они слагают типичные водонапорные системы с инфильтрационными и седиментационными водами различного состава и минерализацией. В карбонатных породах встречаются трещино-карстовые воды. Разгрузка подземных вод в целом идет за счет их выклинивания в межадырных впадинах, долинах и за счет подземного оттока в центральную погруженную часть – Алайскую долину, где дренирующим элементом рельефа является современное русло реки Кызылсу. Родники и грунтовые воды Алайской долины в основном связаны с ледниками. Проведенные замеры температуры колеблются в пределах от 7^0C (Род. в п. Суфикурган) до 28^0C (Род. в п. Гульча). Растворенный гелий отсутствует, и только в некоторых источниках концентрация растворенного гелия в пределах от 0,00008 до 0,0007мл/л. На опробованных скважинах в районах п. Томды, Гарм, Сарыташ, Суфикурган и др. концентрация растворенного гелия в подземны водах от 0,00002 до 0,01мл/л с температурой от 11^0C до 75^0C [6].

Зона северного Памира входит в Куньлуньскую систему [4]. С севера она отделена от Алайской долины северо-Памирским глубинным разломом, а с юга – Акбайтальской зоной разломов. В строении зоны участвуют докембрийские осадочно-метаморфические и магматические образования. Родники Кызыл-Арт, Музкол, Метеостанция в основном холодные, температура их в пределах от 1^0C (Кызыл-Арт) до 11^0C (п.Тавилдара). Концентрация растворенного гелия от следа до 0,0015 мл/л [6]. Зона центрального Памира с севера ограничена Акбайтальской зоной разломов, а с юга Рушано-Пшартским глубинным разломом. В этой зоне широко развиты трещинные воды мезозойских, палеозойских и докембрийских отложений, представленных в виде родников. Температура подземных вод колеблется в широких пределах от 2^0C до 27^0C. Концентрация растворенного гелия в родниках долины Мускол, п. Ванч изменяется в пределах от 0,0001 до 0,0015 мл/л.

На территории юго-западного Памира в районах городов Рушан, Хорог и Ишкашим выходы родников приурочены в основном к долине

реки Пяндж. И в нижнем течении его крупных притоков, таких как Гунт, Бортанг и др., где сильно расчлененный рельеф благоприятствует условиям водообмена и дренированность подземных вод, концентрация растворенного гелия составляет от 0,0004 до 0,0015мл/л. Температура изменяется в пределах от 2^0C до 15^0C и источники относятся к холодным водам. Своеобразность юго-западного Памира, северная часть г. Хорог и юго-восточнее г.Ишкашим состоит в том, что с севера на юг наблюдается изменение как концентрации растворенного гелия (от 0,0015 до 0,05мл/л), так и температуры подземных вод (от 27^0C до 60^0C). Здесь встречаются, раскрытые структуры с довольно пресной водой с низкими значениями гелия. В закрытых структурах встречаются седиментационные воды, т.е. воды, сформированные в процессе формирования водовмещающих пород. Они имеют концентрацию растворенного гелия от 0,0015 до 0,05 мл/л, с температурой до 60^0C [6].

На территории юго-восточного Памира подземные воды приурочены к днищам широких ледниковых долин и к метаморфическим породам докембрия, нижнего и среднего палеозоя, разбитые глубинными тектоническими разломами, такими как Рушано-Пшартский, Аличур-Гулумдинский и Гунт-Аличурский [2,3,4]. Там имеются множество выходов в виде родников холодные от 7^0C до 16^0C и горячие источники от 40 до 63^0C, и в водах этих источников концентрация гелия в пределах 0,0001–0,08 мл/л. Источники выклиниваются на высотах с абсолютной отметкой 3700-4200 м.

Известно, что имеющаяся в районе исследования толща вечномёрзлых пород водонепроницаема. В этих отложениях имеются так называемые подмёрзлотные воды криогенного напора. Одним из многих таких источников является родник на площади Ак-Архар, Авни функционирующий в толще вечномёрзлых пород с температурой 34-77^0C, с концентрацией растворенного гелия 0,02-0,04 мл/л.

Таким образом в районе южного Тянь-Шаня и высокогорья Памира концентрация растворенного гелия в подземных водах изменяется в зависимости от геолого-тектонических условий. Исходя, из гидрогеологических условий и количественного содержания растворенного гелия в подземных водах исследуемую территорию можно разделить на участки с низкими и высокими значениями гелия.

Низкие значения (0,0001-0,0015мл/л) гелия имеют холодные (1-16^0C) родники, расположенные в Алайской долине в пределах южного Тянь-Шаня, северного и центрального Памира, которые находятся в зоне активного водообмена, дренированности подземных вод. Учитывая легкость и подвижность инертного газа, такого как гелий, в трещинных отложениях подземные воды являются транспортом для миграции его в атмосферу [5,6].

Повышенные значения (0,0015-0,05мл/л) гелия содержат теплые и горячие источники (24-75^0C) в различных зонах тектонических

разломов. В районе Алайской долины, где проходят южно Тянь-Шанский и северо-Памирский разломы. В этих районах находятся родники в г.Джиргаталь, скв. в п.Явруз, а родники в районе поселка Ванч с содержанием гелия от 0,0001 до 0,01мл/л [6]. Такие же значения встречаются в подземных водах районов пп. Хорог, Гарм Чашма, Джарты–Гумбаз, Ишкашим, Баршор, Аличур, Ак-Архар, в районе озер Сассыкуль, Зоркуль, находяшихся в зонах глубинных разломов Акбайтальского, Рушано-Пшартского, Аличур-Гулумдинского и Гунт-Аличурского [4,6]. Вышеуказанные глубинные разломы, в основном, приурочены к юго-западному и юго-восточному Памиру. Кроме этого, высокие концентрации гелия отмечены на профиле от п. Гульча к оз.Зоркуль.

Заключение можно отметить, что подземные воды и водные источники являются объектом для изучения и проявления природы флюидо-динамических процессов для обоснования особенностей изменения концентрации гелия в подземных водах. На особенности изменения и количественного содержания гелия в подземных водах исследуемого района существенное влияние оказывают геолого-тектонические условия. Геолого-тектонические условия территории исследований определяют энергетический потенциал гелиевого потока, а тектонические условия определяют пути фильтрации гелия, по которым происходит его миграция через различные структурно-литологические нарушения (разломы и ослабленные зоны земной коры).

ЛИТЕРАТУРА

1. Верховский А.Б. Благородные газы земли. Природа,М.,Недра,№3,1986,С.45-54
2.Хамрабаев И.Х. Строение земной коры западного памира по комплексным геолого-геофизическим данным по профилю Гарм-Калаи-Хумб-Хорог-Ишкашим. Ташкент,Узб.геол.журн.,1980,№5,С.47-51.
3.Матюков В.Е., Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Баталева Е.А. Глубинная геоэлектрическаяя структура Памиро- Алайской зоны // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Мат. Шестого Междунар. симп. Бишкек: НС РАН. 2014. С. 200-201.
4. Бархатов Б.П. Очерк тектоники Альпийского складчатого пояса Юга СССР. Л.: из-во ЛГУ,1971,с.93-104.
5.Закиров М.М. Обзор формирования гелия в природе, его связь с разрывными нарушениями /В сб. «Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии, геоэкологии и пути их решения». Ташкент:2015.С146-151.
6.Зиявуддинов Р.С. Особенности проявления гелия в подземных водах сейсмоактивных районов Центральной Азии. Автореф.кан.дисс. Ташкент,2011,21с.

УДК –550.348. 436

КАРТА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГО-ГЕОНОМИЧЕСКОЙ ТИПИЗАЦИИ ГЕОРИСКОВ ТРАНСФОРМИРУЮЩИХ КРОВЛЮ ЛИТОСФЕРЫ ДАГЕСТАНА

М-П.Б. Айтеков
Институт геологии Дагестанского научного центра РАН, г. Махачкала, Россия

В статье приведены инженерно–геолого-геономические карты и модели типизации и прогноза георисков для территории Дагестана. Впервые составлены на основе объединения тематических карт сейсмической опасности, современных и тектонических движений, экзогенных опасных процессов и явлений, новые инженерно-геономические карты и модели латерального по широтного и по высотного распределения георисков. Карты инженерной геономии позволяют оценить и типизировать трансформацию георисками кровли литосферы, принимать решения по снижению воздействия бедствий на население и территорию Дагестана.

Ключевые слова: георискы, инженерная геономия, трансформация, экзогенные процессы, землетрясения, дренажная оболочка.

MAP OF ENGINEERING-GEOLOGICAL-GEONOMIC TYPIFICATION OF GEOGRAPHICS TRANSFORMING THE ROOF OF THE LITHOSPHERE OF DAGESTAN

M-PB. Aitekov
Institute of geology of the Dagestan centre of science of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

The article presents engineering geological and geomonomic maps and models of typing and forecasting of georisks for the territory of Dagestan. For the first time, they were compiled on the basis of combining thematic maps of seismic hazard, modern and tectonic movements, exogenous dangerous processes and phenomena, new engineering geographic maps and models of lateral latitudinal and altitudinal distribution of geographics. Maps of engineering geonomy make it possible to evaluate and typify the

transformation of the geo-lithosphere of the lithosphere roof, make decisions to reduce the impact of disasters on the population and territory of Dagestan.

Key words: geographic, engineering geonomy, transformation, exogenous processes, earthquakes, drainage shell.

Введение

Основная часть территории Дагестана занимает Северо-Восточных отроги Кавказских гор и имеет достаточно большую Приморскую низменность с абсолютными отметками ниже уровня Мирового океана. Протяженность побережья Каспийского моря в пределах Дагестана 640 км и охватывает частично северный и средний Каспий. Территория Дагестана является одной из наиболее сейсмоактивных областей Кавказа. На карте общего сейсмического районирования (ОСР) типа «А» (ОСР–97А), созданном под руководством В.И. Уломова, которая используется для объектов массового строительства, вся южная половина территории Дагестана оказалась в зоне 10%-ного риска сотрясений в 9 баллов в течение 50 лет (Рис. 1) [1].

Методика исследований, заключается в отборе тематических и аналитических карт и схем, для последующего составления интегрированной карты инженерной геологии и геономии (ИГГН).

ИГГН карта позволит типизировать георискы от комплексного воздействия тектонических движений, сейсмической опасности, экзогенных процессов и явлений (сели, оползни, подтопления территорий), а также спрогнозировать их возможные влияния на трансформацию кровли литосферы территории Дагестана [1-9].

Результаты исследований

Дагестан расположен в зоне активного орогенеза со скоростью подъема несколько сантиметров в год и характеризуется развитием межгорных впадин с опусканием до 1 см в год, разломами и высоким сейсмическим риском (Рис.1) [1-4].

На рисунке 1 представлена «Карта распространения эллипсовидных очагов (красный цвет на карте) различных землетрясений, разломных зон (синие линии) и рельефа местности (цвета различной интенсивности) в поле сейсмогеодинамики на Кавказе и территории Дагестана». Из карты видно, что территория Дагестана относится к высоко активной, с позиций проявления сильных землетрясений и сейсмогеодинамики, зоне георисков [1, 3, 5].

Данные геодинамической сети исследования актуотектонических движений и деформаций земной коры позволили Булаеву Н.М., Магомедову Б.И., Халилову А.Г., Н.М. Магомедмирзоеву Н.М., Османову Р.Ш. по мониторингу современных движений земной коры определить, что горизонтальные перемещения в северо-восточном направлении по

азимуту 69 град на территории Дагестана происходит со средней скоростью 3,1 см за год (в ITRF 2000) [4].

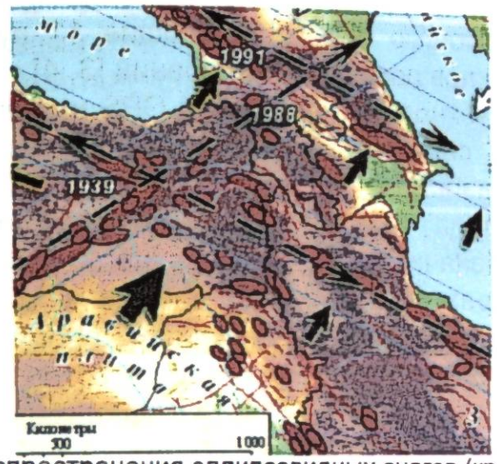


Рис.1. Карта распространения эллипсовидных очагов (красный цвет на карте) различных землетрясений, разломных зон (синие линии) и рельефа местности (цвета различной интенсивности в поле сейсмогеодинамики на Кавказе и территории Дагестана [1].

На границе смены знаков движений в районе Прикаспийской низменности и шельфовой части моря Каспия и предгорном Дагестане, активизированы древние разломы, с унаследованным возобновлением блоковых смещений, и ростом интенсивности потока сейсмических событий [3, 4].

Смена знака колебаний уровня воды Каспийского моря, сопряжена с современными геодинамическими движениями. Рост уровня зеркала воды в Каспии с 1978 года на фоне 200 летнего периода его понижения, приводит к георискам водного генезиса, затрудняет судоходство, негативно влияет на ведение рыбного промысла, затапливает территории, промыслы и коммуникации с экологическими последствиями [3, 4].

Исследовать георискы необходимо, поскольку функционируют ныне в стране 7 ГЭС, 1 строящаяся и 11 проектируемых ГЭС, которые находится сейсмоопасных горных и предгорных районах. В районах крупных водохранилищ и ГЭС происходит сезонного характера техногенное деформирование массивов грунтов, и индуцируются техногенные землетрясения.

Территория Дагестана делится на 14 блоков земной коры различных порядков, где были размещены 19 пунктов GPS, в т.ч. 14 пунктов GPS и еще 5 пунктов для изучения поперечных разломов. Значительная часть пунктов установлена была в области Дагестанского клина, где концентрируется основные произошедшие землетрясения. Впервые установлены были в 1996 г. сети мониторинга современных движений в районе Чиркейского гидротехнического сооружения

входящих в деформационную сеть местного гидроузла и ряд закрепленных пунктов, расположенных в Нарат-Тюбинской моноклинали, на Хадумском куполе и Южном крыле Салатауской антиклинали. С помощью сети, включающие 11 пунктов наблюдений, выполнены до 5 циклов повторных измерений [3, 4].

Спутниковые технологии измерений GPS на территории Дагестана началось с 2002 г., создан был пункт в г. Махачкале. Пункт Махачкала расположен в наиболее выдвинутой центральной части Талги-Губденского выступа Дагестанского клина по обе стороны предполагаемого Махачкалинского поперечного разлома.

Полученные результаты представленые в виде карт смещения реперных точек относительно выбранной опорной точки (Рис. 2) позволяют создать 3D-модель Республики Дагестан [2]

На рисунке 2. представлена «Карта геодинамических исследований современных движений Дагестана»



Рис. 2. Карта геодинамических исследований современных движений Дагестана

Повторные наблюдения проведены были на пунктах Дубки (1), Зурамакент (2), Буйнакск (4), Махачкала (5), Губден (7), Манас (8), Сергокала (10) что позволило проследить за смещением складчатого склона передового прогиба в зоне Дагестанского клина, а на пунктах Первомайск (11) и Рукель (14) – в зоне линейных складок [3, 4].

Актуотектонические движения приводят к горизонтальным перемещениям территории Дагестана в С-В направлении по азимуту 69 град со средней скоростью 3,1 см за год.

Наряду с современными движениями на территории Дагестана произошли сильнейшие разрушительные землетрясения. К примеру, при

катастрофическом 8–9 балльном землетрясении 1830 г. 25 февраля 1830 года в 1ч. 23 мин. казармы рухнули, в городе было разрушено 900 каменных саклей и 8 мечетей. Землетрясение продолжалось с некоторыми перерывами 21 день [2].

Землетрясение Дагестанское произошло в 1970 г. интенсивностью 9 баллов, магнитудой M=6,7 14 мая 1970 г., с эпиценром в 30 км к западу-северо-западу от г. Махачкалы. Пострадало 25% территории страны, разрушено полностью 22 и частично 257 населённых пунктов, в т.ч. города Махачкала, Буйнакск, Каспийск, Хасавюрт и Кизилюрт. Погибли 31 человек, 45 тыс. остались без крова (Рис.3) [2, 6-8].



а. б. в

Рис. 3. Фотодокументы Дагестанского землетрясения 1970 года.

В Республике Дагестан также имеют место возникновение георисков метеорологического характера связанные с понижением температуры воздуха ниже нормы, выпадением осадков в виде снега, сильного ветра в приморских районах республики и г. Махачкала, гололедных явлений на федеральной трассе М-29 «Кавказ».

В январе-апреле сезонно активиизруются георискы от снежных лавин в районах Ахтынский, Рутульский, Тляратинский, Чародинский, Цумадинский, Цунтинский, Гумбетовский районы и Бежтинский участок. Лавинная опасность в Республике Дагестан несет угрозу в 9 горным районам страны-Цунтинский, Цумадинский, Тляратинский, Рутульский, Чародинский, Ахтынский, Докузпаринский, Гумбетовский районы, Бежтинский участок, где выявлены наиболее опасных 32 лавинных участков.

Георискы от активизации **оползней и селей** вызваны таянием снега, затяжных атмосферных осадков, антропогенного воздействия в горных и предгорных районах Республики. Активизация селей сезонно проходит в Цунтинском, Гумбетовском, Цумадинском, Табасаранском, Новолакском, Ахвахском, Казбековском, Кайтагском, Ахтынском, Лакском, Агульском, Левашинском, Гунибском, Догузпаринском, Ботлихском, Шамильском, Карабудахкентском (береговая зона Каспийского моря), Буйнакском районах, г.г.Буйнакск и Махачкала.

Максимальная активность селей и оползней сезонно проявляются в марте-мае месяцах в Предгорном Дагестане и в июне-августе в области Среднегорного и Высокогорного Дагестана [5, 8].

Основными факторами развития **оползней** являются гидрометеорологические (атмосферные осадки), техногенные (строительство дорог, подрезка склонов) и неотектонические условия. В 2012 г. наблюдались год активности схода оползней до 4 случаев. Всего в стране насчитывается 221 оползней создающий угрозу 222 населенным пунктам, где общая численность населения в зоне риска составляет 120 тыс. чел. (или 29 тыс. жилых домов). Речная сеть Дагестана представлена такими крупными водными артериями как Терек, Сулак, Самур.

Георискы от оползней несут угрозу населённым пунктам Шамильский район с. Ратлуб, г. Буйнакск, Ахвахский район с. Карата, Местерух, Лологонитель, г. Махачкала, пос. Тарки, а от селевых потоков-5 населённым пунктам и 3 объектам транспортной инфраструктуры по автодорогам Унцукульского и Цумадинского района (с. Хварши, с. Агвали, с. Верхний инхоквари, с. Качали, с. Гакко) и Цунтинского района между с. Шаури и с. Мокок [5, 8].

Обвально-осыпные процессы ежегодно активизированы в летне-осенний период при прохождении ливневых дождей в областях Высокогорного, Среднегорного Дагестана и в Предгорном Дагестане. Активизация от воздействия гидрометеорологических, неотектонических, техногенных (подрезка склонов при строительстве автодорог) георисков происходит в Ахтынском, Чародинском, Ахвахском, Агульском, Курахском, Дахадаевском, Кулинском, Гунибском, Тляратинском, Шамильском, Гумбетовском, Цумадинском, Цунтинском районах, г.Махачкала (пос. Тарки) [5].

С июня по август месяцы сезонно проявляются георискы от **паводков и затопления** на территории Бабаюртовского и Кизлярского районов вследствие высокого прохождения уровня воды в р.Терек. Оттаивание значительных снего-запасов при резком потеплении активизируется георискы от половодья с превышением уровней воды в малых реках Дагестана на 30-40% от нормы [5].

Селевые процессы имеют сезонный характер активизации с пиками роста их активности в бассейне рек: Андийское Койсу, Казикумухское Койсу, Аварское Койсу, Уллучай, Кара-Койсу, Курах-чай, Акташ, Аксай, Чирагчай, Самур в паводковый период (апрель-июнь) и в период ливневых дождей весенне-летний период (июнь-сентябрь). В Дагестане выделено 37 селеопасных участков, создающих угрозу37 населенным пунктам, где в зоне опасности проживают 5050 чел. (1056 жилых домов). Например, в г. Дербент в результате прошедших ливневых дождей 10 октября 2012 года сход селевых потоков привел к подтоплению приусадебных участков и подвальных помещений 320 частных жилых домов с населением 1120 чел. Одновременно произошло повреждение участка газопровода низкого давления длинной около 250 м (диаметр 57 мм) и было нарушено газоснабжение 200

домовладений с населением 2500 человек. Вследствие подтопления насосной станции нарушено водоснабжение 5 373 домов с населением 27 000 человек погибло 6 человек [5, 7-8].

Северо-Кавказский регион относится к наиболее сейсмоактивным регионам России, где возможны катастрофические землетрясения с магнитудой 8 и более. Высокая сейсмичность определяется геологическим строением исследуемой территории.

На Кавказе в земной коре накапливаются значительные напряжения на границе столкновения 2-х крупных литосферных плит - Скифско-Туранской и Аравийской. В течение последних 30 лет в пределах СКФО проявились 6 катастрофических землетрясений: 1976, 1986, 1988, 1991, 1992 и 2000 гг.

В 1988 г. произошло Спитакское землетрясение магнитудой M=6,9 и в 1991 году Рачинское магнитудой M=7,1.

Согласно разработанного сотрудниками Координационного прогностического центра Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской Академии наук прогноза в Восточном Дагестане высока вероятность возникновения сильного землетрясения с 5,8<Ms<6,2 в т.ч. в районе г. Махачкалы или г. Дербента [1, 5].

На составленной впервые ИГГН карте типизации и прогноза георисков видно, что кровля литосферы территории Дагестана весьма подвержена опасным процессам и явлеиням тектонического и сейсмического характера (Рис.4) [5].

Из ИГН карты следует, что максимальные по интенсивности сейсмического воздействия в 10 баллов трансформации происходят в южной части страны в пределах альпийского складчато-надвигового горного сооружения Восточного Кавказа АС-НС (ВК), включая южную зону Терско-Каспийского передового прогиба, представленного Южно-Дагестанской тектонической ступенью, Терско-Сунженской Зоной, Дагестанским клином и Нараттюбинской складчато-надвиговой зоной. Данная зона характеризуется максимальным развитием георисков от оползней, обвалов, карста, селей и лавин (Рис.4) [5].

Трансформация кровли литосферы Дагестана сейсмичностью в 9 баллов субширотно охватывает срединную часть страны в пределах северной части Терско-Каспийского передового прогиба (ТКПП) и охватывает Терско-Сулакскую деперссию.

На ИГН карте в пределах 9 балльной зоны контуром и крапом синего цвета выделены районы заболачивания и засоления, которые создают эффект приращения сейсмической балльности (рис.4) [1, 5, 8].

На ИГН карте трансформация кровли литосферы сейсмичностью в 8 баллов охватывается субширотная южная часть Скифско-Туранской плиты, где контуром и крапом синего цвета выделены районы заболачивания и засоления, которые создают эффект приращения сейсмической балльности. В северной части Скифско-Туранской плиты

кровля литосферы трансформируется сейсмичностью в 7 баллов (см.рис.1) [1, 2,5-8].

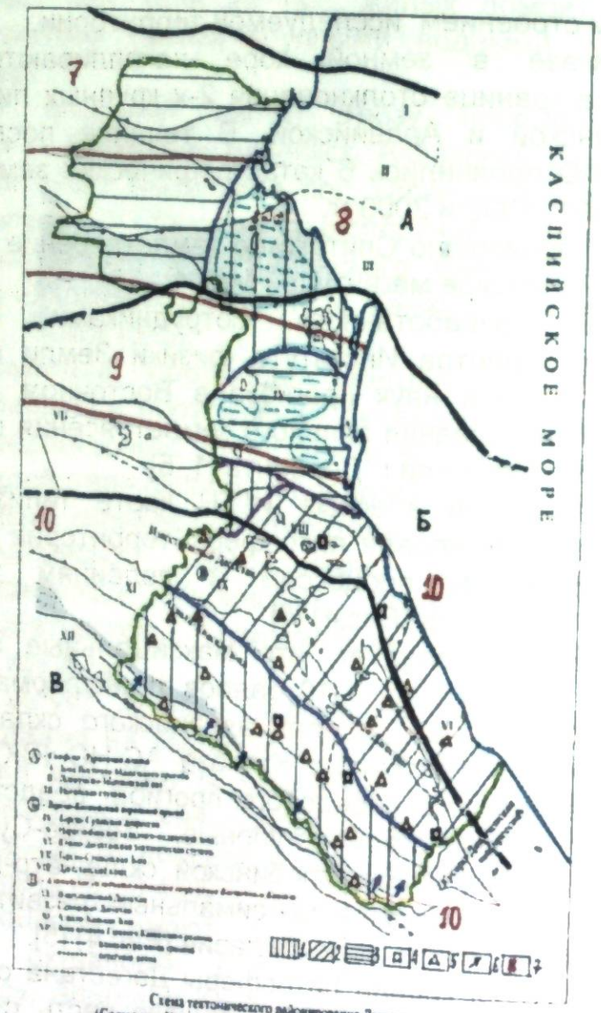
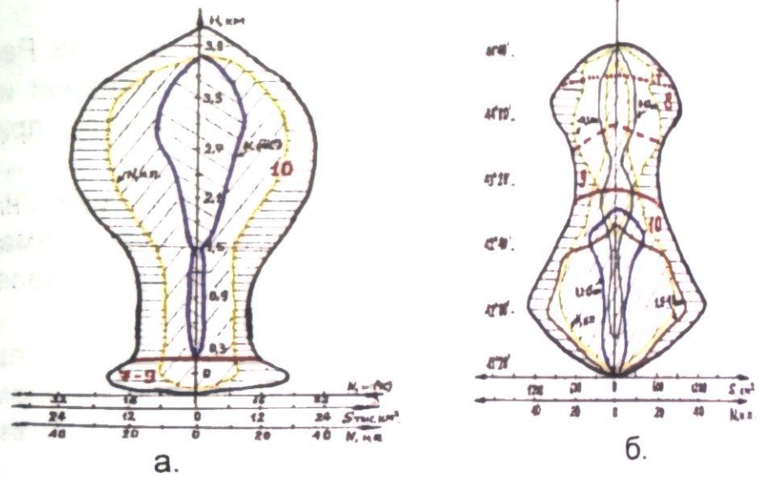


Схема тектонического районирования Дагестана
(Составлена К.А. Сабанаевым, В.И. Черкашиным, Л.В. Шалбузовой)
2012 г.

Рис. 4. ИГН карта типизации и прогноза многоступенчатых георисков трансформирующих кровлю литосферы территории Дагестана.

На интегральной ИГГН карте типизированы и выделены штрихами территории по коэффициенту пригодности для проживания населения. Горизонтальные штрихи указывают на наиболее пригодные условия К=0,42-0,67; диагональные штрихи на пригодные условия с К= 0,28 – 0,42; и горизонтальной штриховкой наименее пригодные обстановки с К= 0,14 - 0,28 (см.рис.4) [5].

На рис. 5 приведены впервые для исследуемой территории составленные «Инженерно-геономические модели закономерности латерального по-широтного (а) и вертикального по-высотного (б) распределения геономов (территориальности, орогенности, долинности, густоты числа населенных пунктов), типизации и прогноза георисков в Дагестане (Рис.5) [5].



а. б.

Рис. 5. ИГН модели латерального по высотного (а) и поширотного (б) закономерностей распределения и типизации геономов: территориальности, орогенности, рельефной ступенчатости, георисков, населенных пунктов территории Дагестана.

На ИГН моделях латерального по-широтного распределения геономов (а) видно, что густота населенных пунктов имеет максимальный пик, совпадающий с высотностью от 1,5 до 4 км и одновременно совпадает с 10 бальной зоной сейсмической опасности. На ИГН модели вертикального по-высотного распределения геономов территориальности Дагестана, пики максимального распределения количества георисков и густоты концентрации населенных пунктов коррелируют между собой и совпадают с максимальными пиками сейсмичности в 10 баллов (см.рис.2) [5].

Из ИГН карты и моделей видно, что наиболее высоко-сейсмические районы, являются по био-климатическим обстановкам наиболее пригодными для проживания, что требует организации

системы предупреждения и раннего оповещения населения от георисков природного, техногенного и экологического характера.

Таким образом, закономерно по субширотной зависимости последовательно с севера на юг происходит увеличение трансформации кровли литосферы на территории Дагестана.

При этом максимальные георискы склонового экзогенного характера приурочены к зонам повышенной сейсмичности в 9 и 10 баллов (Рис. 4, 5) [5,8].

При типизации георисков, безусловно, следует учитывать новые на уровне открытий имеющиеся достижения кыргызских ученых в области горной геомеханики [10,11].

Выводы

1. Регион Каспия в пределах территории и акватории Республики Дагестан является геодинамически и сейсмически активной и требует создания комплексной сети мониторинга георисков природного, техногенного и экологического характера.

2. Составлены первые для исследуемой территории инженерно-геолого-геономические карты на основе интеграции серии тематических карт позволяющие типизировать георискы несущие угрозы населению и территории Дагестана.

3. Карты сейсмичности, считающиеся конечным продуктом исследований, были преобразованы в геоном-модели закономерности поширотного и повысотного распределения, типизации и прогнозирования георисков.

4. На территории горных стран рекомендуется, для измерения предвестника землетрясений в виде скачкообразных и знакопеременных изменений деформаций перед землетрясениями, обусловленными высвобожденим генетических остаточных напряжений горных пород остаточных напряжений, создавать сети мониторинга деформационных и магнитометрических показателей риска катастрофических сейсмических событий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уломов В.И. Выявление потенциальных очагов и долгосрочный прогноз сильных землетрясений на Северном Кавказе // Изменение окружающей среды и климата. Природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Монография в 8 томах (Ред. акад. Н.П. Лаверов, коллектив авторов). Том I "Сейсмические процессы и катастрофы" (Отв. ред. акад. А.О.Глико) – М.:ИФЗ РАН, 2008. – С.127–146.

2. Общий каталог землетрясений на территории Дагестана. Макросейсмические и инструментальные данные о землетрясениях за период с VII в. н. э. до 2005 г. (Отв. ред. Левкович Р.А.) –Махачкала, 2007. – 394 с.

3. Адилов З.А., Асманов О.А. Некоторые особенности макросейсмических проявлений землетрясений Дагестана и прилегающих территорий// Геология и геофизика Юга Росси. – Владикавказ, 2014. – №4 – С. 3–8.

4. Булаева Н.М., Галаганов О.Н., Гусева Т.В., Даниялов М.Г. Геодинамические исследования Дагестане с применением спутниковых технологий // Материалы 38 тектонического совещания «Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных иско-паемых». Отв. редактор Ю.В. Карякин. Москва, ГЕОС. Т.1. 2005. С.75-78.

5. Усупаев Ш.Э., Айтеков М. Б. Инженерно-геономическая типизация георисков литосферы Дагестана. Сборник материалов докладов. 9-ая Международная конференция молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях» 27-28 марта 2017 года. г. Бишкек. НС РАН, 2017. С. 188-192.

6. https://ok.ru/nationaldag/topic/67382536757464

7.https://www.syl.ru/article/310111/zemletryaseniya-v-dagestane-veroyatnost-povtoreniya-goda#image3

8.https://www.syl.ru/article/310111/zemletryaseniya-v-dagestane-veroyatnost-povtoreniya-goda#image3

9. Айтматов И.Т. Геомеханика рудных месторождений Средней Азии. Изд-во «Илим». Фрунзе, 1987. 247 с.

10. Тажибаев К.Т. Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород. (Том.1) Бишкек. Алтын Принт-2016, 352 с.

11. Тажибаев К.Т. Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород. (Том.2). Бишкек: Алтын Принт-2016, 357 с.

УДК 622.4 /.6 (574.2)

ИНЖЕНЕРНО-РУДНИЧНО-ГЕОЛОГО-ГЕОНОМИЧЕСКИЕ КАРТЫ И МОДЕЛИ ТИПИЗАЦИИ ГЕОРИСКОВ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ РУДНИКОВ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

М.Б. Едигенов
ТОО «Научно Производственная Фирма ГЕОЭОКС», Республика Казахстан

Основы инженерно-рудничной геологии разработаны на примере исследования 19 основных месторождений полезных ископаемых Северного Казахстана. Освоение полезных ископаемых приводит к отчуждению земель, нарушениям устойчивости бортов карьеров, обрушениям грунтов, их сыпучести, активизации оползней, обвалам, горным ударам, обводнениям и затоплениям горных выработок, загрязнениям окружающей геологической среды и индуцированным ими георискам. Георискы при освоении полезных ископаемых трансформируют литосферу и требуют учета свойств грунтов, влияния изменения климата для обеспечения безопасности населения и территории от их негативного воздействия.

Ключевые слова: инженерно-рудничная геология, георискы, современные движения, полезные ископаемые, кольцевые структуры, обрушение, карьеры, устойчивость бортов.

ENGINEERING - MINE GEOLOGICAL- GEONOMICAL MAPS AND MODELS OF TYPING GEORISK FROM THE IMPACT OF MINES IN NORTHERN KAZAKHSTAN

M.B. Edigenov
Open Company «Scientifically Product company GEOEOKS», Republic Kazakhstan

The fundamentals of engineering and mine geology are developed on the example of a study of 19 major mineral deposits in Northern Kazakhstan.The development of minerals leads to alienation of lands, stability violations of the quarries of quarries, caving of soils, their flowability, activation of landslides, landslides, mountain impacts, flooding and flooding of mine workings, pollution of the surrounding geological environment and georisks induced by them. Georisks during the development of useful fossils

transform the lithosphere and require consideration of the properties of soils, the impact of climate change to ensure the safety of the population and the territory from their negative impact.

Keywords: engineering-miner geology, geoscratches, modern locomotions,minerals, ring structures, collapse, open-cast mines, stability of borts.

Введение

Базовые термины

Инженерно-рудничная геология (ИРГ), новый раздел науки инженерной геологии месторождений полезных ископаемых, изучающая круговороты компонент полигрунтов трансформирующих георисками субчасти кровли литосферы в сфере влияния рудников для снижения их негативного воздействия на жителей, инфраструктуру и территорию населенных пунктов. ИРГ тесно связана с следующими дисциплинами: инженерной геологией, рудничной гидрогеологией, рудничной геологией, геогидрологией, инженерной геономией. ИРГ использует, в отличие от обшепринятых дисциплин изучающих рудники и карьеры, следующие понятия и термины.

Круговорот полигрунтов–процессы глубинной денудации планетарного и регионального масштабов и выноса компонент грунтов по механизму «дренажной оболочки» из недр орогенов под океаническое ложе, приводящие к формированию нефтегазоруд и индуцированных георисков.

Трансформация литосферы - это преобразование литосферы индуцированными природными, техногенными и геоэкологическими георисками при горнорудном освоении полезных ископаемых.

Методы и методологии исследований, заключаются в проведении полевых, камеральных работ с составлением карт, моделей и экспликаций. На рис. **1** представлена составленная автором карта распространения рудных объектов, где предлагается методически выделять **3** полигона и **12** ареалов размещения основных **19** месторождений Северного Казахстана. По рудной специализации полезные ископаемые сосредоточены: в шести железорудных месторождениях - Качарское-**1**, Ломоносовское-**4**, Соколовское-**9**, Куржункульское-**12**, Сарбайское-**7**, Южно-Сарбайское-**7**-а; четырех бокситовых на аллюминий - Аятское-**10**, Восточно-Аятское-**10**, Краснооктябрьское-**18**, Аркалыкское-**19**; четырех золоторудных Васильевское-**3**, Комаровское-**16**, Элеваторное-**16**, Джетигаринское-**16**; в двух урановых Касачинское-**5**, Грачевское-**6**.

В работе представлены инженерно-руднично-геологические и геномические методы и методологии интегрированного мониторинга и картирования и типизации георисков для разных этапов освоения полезных ископаемых Северного Казахстана [1-8].

Мониторинг георисков проводился по сети наблюдений за опасными процессами и явлениями, на базе 39 постов инструментальных наблюдений и 2 полигонов (Рис.1, 2).

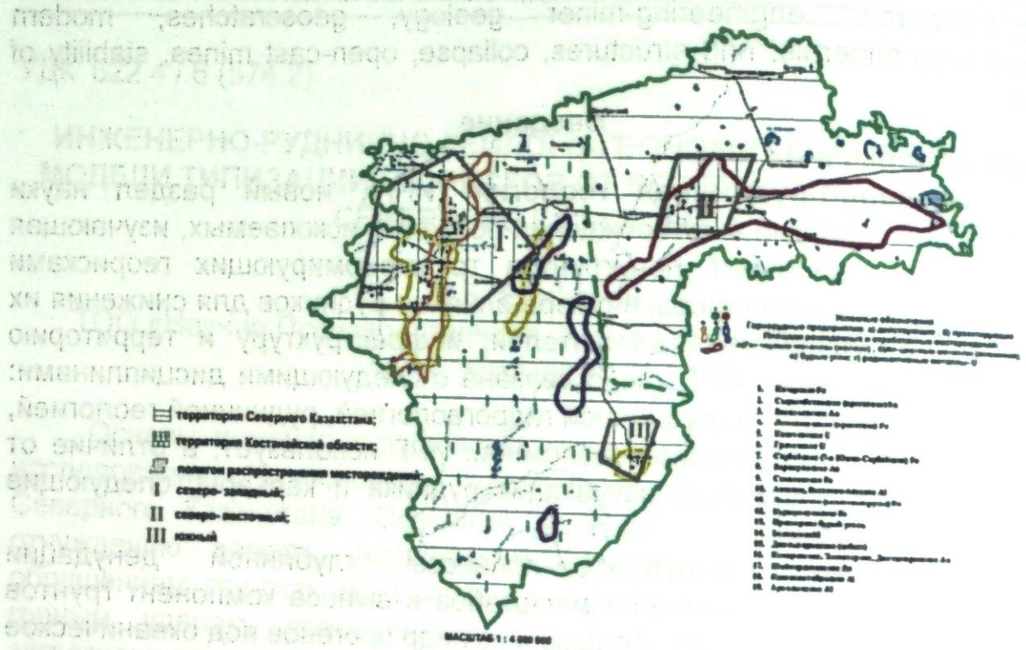
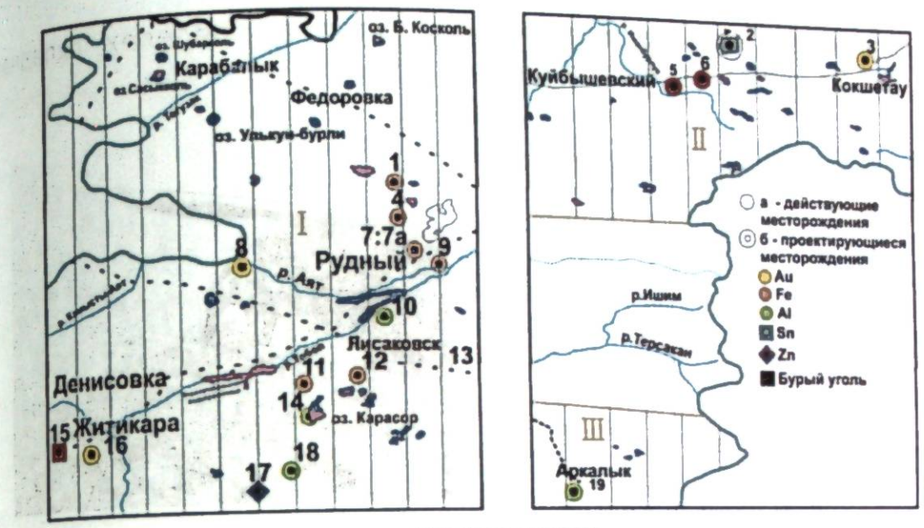


Рис. 1. Карта размещения полигонов и ареалов сосредоточения полезных ископаемых в Северном Казахстане

При ИРГ типизации георисков природного, техногенного характера используется в отличие от традиционных подходов в инженерной геологии месторождений полезных ископаемых, рудничной геологии и гидрогеологии, новые методология инженерной геономии и катастрофоведения, т.е. генетически увязываются между собой 3 категории **уязвимости** (КУ), 6 степени **риска** (СР) и 12 уровня **опасности** (УО). На ИГН картах ИРГ, КУ расположены в последовательности по уменьшению георисков: **Бедствия-Кризиса-Дискомфорта**, указывающих на местоположение и масштаб проявления источника опасностей. ИРГ и ИНГ методологии позволяют выделить для типизации и прогноза георисков 6 степеней рисков на 60% информативности указывающих на интенсивность проявления георисков, 12 уровней опасностей до 60 % их информативности показывают на время ожидания активизации георисков.

На рисунке **2** представлены «Карты-врезки типизации и размещения полигонов **(I-III)** и индивидуальных по рудной специализации **(1-19)** полезных ископаемых» в Северном Казахстане.



МАСШТАБ 1:1 000 000

Карты-схемы (врезки) размещения месторождений полезных ископаемых на (I северо-западной, II северо-восточной, III южной частях) территории Северного Казахстана (Едигенов М.Б. 2016 г.)

Рис. 2. Карты-врезки типизации и размещения полигонов (I-III) и индивидуальных по рудной специализации (1-19) полезных ископаемых в Северном Казахстане.

Результаты исследований

По металлогенической специализации исследуемое количество месторождений распределены по следующему: золота – 3, урана – 2, железа – 7; алюминия – 3; олова -1; цинка -1; бурого угля- 1, асбеста-1 [1-4].

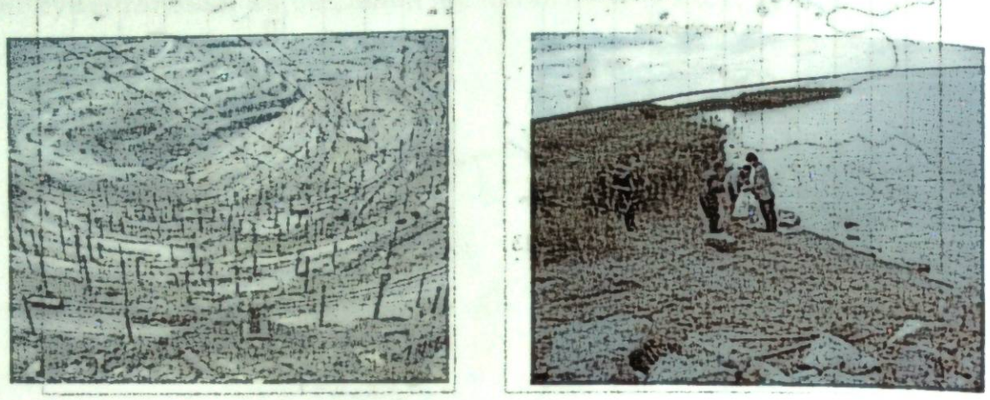
Крупнейшие в мире месторождения скарново-магнетитовых руд Костанайской области (Рис.2) [1-4] Сарбаевское (7), Соколовское (9), Качарское (1) залегают среди нижне-, средне-, и верхне-карбоновых вулканогенно-осадочных отложений. Руды месторождения в грунтах очень богаты и наполовину представлены сплошными, а на 50% вкрапленными разностями Fe, при среднем содержании железа 46% [1-4]. На рис. 3-а приведен Сарбаевский железорудный карьер, глубина его достигла 590 м., площадь чаши составляет 9,8 км², а объем извлеченных из недр руд и грунтов превышает 1,52 км³[1, 2].

При извлечении из недр массивов грунтов по Сергееву Е.М (1983), с объема до 0,5 км³ и более, и/или создании искусственных водоемов аналогичным объемами в литосфере индуцируются землетрясения и тригерные экзогенные опасные процессы [5].

К инженерно-руднично-геологическим георискам водного генезиса относится Васильевский накопитель вод с площадью зеркала водоема 100 млн. м², где накоплено 300 млн. м³ загрязненных дренажных вод (Рис.3-б) [1, 3].

С геодинамических и металлогенических позиций в регионе исследований выделяется зона максимальной макротрещиноватости земной коры с развитием тектонически напряженной области. Рудные

участки и рудоносные интрузии находятся в пределах складчато-разрывных структур высших порядков [1, 6, 7].



а б

Рис. 3. Фотодокументы объектов и источников формирования георисков на примере карьера Сарбайское месторождение (а) и Васильевский накопитель рудничных вод (б) Северного Казахстана.

В Северном Казахстане выделяется 2 типа контрастных структур: 1. Кокчетав-Ишимский антиклинорий; 2. и Тенгизский и Тургайский прогибы, имеющие контрастные типы металлогенической специализации. Месторождения полезных ископаемых контролируются трещинами оперения и узлами пересечения следующих разломов: Степняк-Акбеитский, Байлюсты-Джеламбетский, Бестобинский и приурочены к краевым зонам Кокчетау-Селетинского прогиба [1, 6].

Эндогенные месторождения никеля, Fe, Mb, Sn, W, Tn, Nb, Au размещены в интрузиях перидотит-габрового и гранитоидного комплекса вдоль антиклинальных структур докембрия в зонах ордовикских прогибов. Экзогенные рудные формации с повышенным содержанием ванадия, марганца, фосфора расположены в докембрийских железистых кварцитах и кембрийских углисто-глинисто-кремнистых осадках [6, 7].

Изучаемая территория представляет собой зону сочленения геоконов Обской и Казахско-Тянь-Шаньской МЦТ каледонского и герцинского возраста. В пределах мегаструктур центрального типа (МЦТ) иследуемая территория с севера представлена Иртышским астеконом с мощностями земной коры от 35 до 40 км и южнее Кокчетавским геоконом с мощностью земной коры 45 до 55 км [6-8].

Месторождения на границе сочленения Казахской складчатой системы с Западно-Сибирской плитой и Тургайским прогибом геодинамически связаны с Ишимской планетарной геосистемой и Костанайской МЦТ [7 - 9].

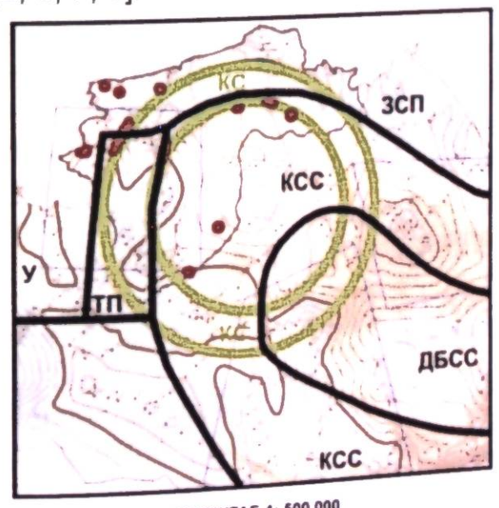
Зоны МЦТ тектонически ослаблены, весьма подвижны, сильно раздроблены, что способствует миграции тепла и флюидов из глубин и

их перераспределения в благоприятных для образования полезных ископаемых ловушках в различного ранга массивах грунтов.

На крутых крыльях смены знаков актуотектонических движений в условиях высокой разломности и трещиноватости в массивах грунтов растет водопроницаемость. При освоении месторождений подземный сток представляет георискы, т.к. затапливает карьеры и шахты. Затраты на водоотлив достигают 10% себестоимости добычи минерального сырья [1-4, 7].

На ИГН карте (рис. 4) изолиниями голубого цвет показаны районы постоянного актуотектонического погружения, красными - вертикального поднятия, коричневой - нулевые значения современных движений. Из данной ИГН карты видно, что в северо-западном (I) и С-На полигоне (II) ареалов размещения месторождений массивы грунтов в карьерах и шахтах испытывают геодеформации в виде вертикальных поднятий кровли литосферы со скоростями от 1 до 4 мм/в год. На южном полигоне (III) погружения происходят со знаком до 2 мм/год и более, что приводит к разным условиям устойчивости грунтовых массивов при освоении месторождений с дифференцированными проявлениями георисков.

На рис.4 с позиций ИРГ и ИГН были интегрированы карты: **а**. геодинамическая карта (черные толстые контуры); **б.** карта современных вертикальных движений (голубые и оранжевые изолинии); **в**. карты ареалов рудных зон (красные круги и пятна); **г.** карта Костанайской МЦТ (КС-зеленные круги). ЗСП-Западно Сибирская плита, КСС-Казахстанская складчатая система (каледонская), ДБСС-Джунгаро-Балхашская складчатая система (герцинская), ТП- Тургайский прогиб, У-герциниды Урала [2, 3, 7, 8].



МАСШТАБ 1: 500 000

Рис. 4. ИГН карта типизации ареалов размещения месторождений полезных ископаемых и интегральной трансформации геодинамическими движениями и георисками литосферы контролируемой Костанайской МЦТ.

Из ИГН карты видно, что ареалы месторождений полезных ископаемых, при добыче которых активизированы георискы, расположены на границах, внутри зоны и на периферии МЦТ. До 64% ареалов месторождений входят в зону Костанайской МЦТ, при этом 35% контролируются внешней и 1% расположено внутри МЦТ.

На промышленных площадках рудников проведены полевые ИРГ маршруты, буровые опытно-фильтрационные работы и лабораторные испытания грунтов, определены гранулометрический состав несвязных разностей и прочностные характеристики глинистых, скальных и полускальных пород [1-4]. На месторождениях развиты система трещин, согласная с направлением слоистости и рассланцевания, которые прослеживаются во всех породах месторождений и вблизи рудных тел. Вблизи рудных тел или тектонических нарушений трещины образуют крупные плоскости, протяженностью до 20 –50 метров с зеркалами скольжения.

При исследовании по уточнению инженерно-геологических условий доработки Соколовского, Сарбайского и Южно-Сарбайского месторождений открытым способом в зоне выветривания до отметки +40 м получены следующие показатели свойств грунтов: сцепление по трещинам слоистости – 5 т/м^2, угол внутреннего трения – 31^0, а ниже - сцепление – 7,5 т/м^2 [4].

На рис.5 приведена «Карта инженерно-геологической типизации исследуемой территории» Сергеева Е.М., Голодковской Г.А., Попова И.В. (1976), дополненная автором: а. картой Костанайской МЦТ, в. картой ареалов месторождений полезных ископаемых, которая по методике типологического картирования соответствует по рангу структурно-тектоническому признаку и находится в пределах 4-х инженерно-геологических регионов первого порядка, выделенных коричневыми линиями и римскими цифрами (I, V, VII, IX) [5].

В северной части исследуемый регион граничит с инженерно-геологической областью Западно-Сибирской плиты (VII), сложенной континентальными мезо-кайнозойскими отложениями, в северо-западной части сопряжена с Русской платформой (I). В южной и ЮЗ части, исследуемая территория представлена частью Туранской плиты (IX), в ЮВ части инженерно-геологическим регионом (V) Казахской складчатой зоны.

ИГН карта дополнена внесением карты Коснайской МЦТ и карты ареалов концентрации месторождений. Исследуемый регион зажат между Ю-В отрогами южного окончания Уральского хребта, а с востока и юго-востока - Казахстанским мелкосопочником. Исследуемые крупные магнетитовые месторождения-Соколовское, Сарбайское и Качарское характеризуются очень сложными инженерно - и гидрогеологическими условиями, создаваемые инфильтрацией воды из р. Тобол, протекающей вдоль их южных флангов. Постоянный речной приток,

поступает в карьеры через дренируемую призму водопроницаемых пород. В процессе проектирования и строительства карьеров проводятся наблюдения за работой дренажных устройств, режимом водопритоков, качеством дренажных вод и развитием георисков [1, 4, 5].

На рис. 5 рудные ареалы закрашены красным цветом; темно-зеленными линями выделены инженерно-геологические регионы второго порядка, а светло-зеленым цветом - инженерно-геологические области по геоморфологическим признакам.

ИГ регионы: I – Русской платформы; II – Сибирской платформы; III - Забайкальской складчатой страны; IV – Алте-Саянсокой складчатой страны; V – Казахской складчатой страны; VI – Урало-Новоземельской горной страны; VII - Западно –Сибирской плиты; VIII – Таймыро-Североземельской складчатой страны; IX - Туранской плиты; X- горно-складчатых сооружений Средней Азии; XI – Тихоокеанской геосинклинальной области; XII – Альпийской складчатой системы; XIII – инженерно геологических регионов первого порядка; (коричневые линии); XIV – инженерно-геологических регионов второго порядка (темно-зеленный цвет линий); XV – инженерно-геологических областей (светло зеленный цвет). ИГ области: А-морские четвертичные отложения; Б-ледниковые четвертичные отложения, В - озерно-аллювиальные верхне-плиоцен-четвертичные отложения, Г-континентальные мезо-кайнозойские отложеиня, Д-верхнечетвертичных и современных аллювиальных отложений. Арабскими цифрами: 1-Тургайский, 4-Сырдарьинский, 7-Кокчетав–Улутауский, 6-Урало-Тобольский, 8-Центрально-Казахстанский [1, 4, 5].

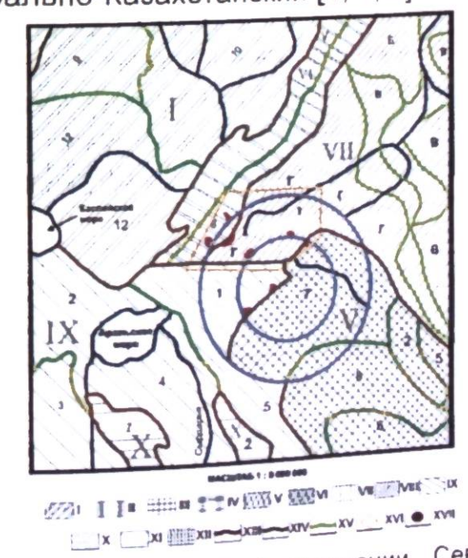


Рис. 5. Карта инженерно-геологической типизации Северного Казахстана и трансграничных районов России дополненная автором схемами ареалов концентрации месторождений и Костанайской МЦТ.

Инженерно руднично-геологические и геономические - условия отработки карьеров Соколовско-Сарбайской группы сложные и обусловлены: а. геологическим строением и мощностью рыхлых отложений 80-150 м; б. наличием поверхностей ослабления в несвязных и скальных грунтах-трещиноватостью и слоистостью грунтов; в. низкими прочностными свойства рыхлых пород и поверхностей ослабления (склонностью пород к выветриванию; обводнённостью рыхлой и скальной толщи) [1, 4, 5].

На исследуемых месторождениях выделены два инженерно-геологических комплекса: 1.- слабых и средней крепости пород, представленных покровными мезо-кайнозойскими породами и глинистыми свойствами коры выветривания палеозойских пород; 2.- присутствием в разрезах крепких и средней крепости палеозойских пород. В комплекс мезо-кайнозойских отложений коры выветривания в разрезах преобладают слабые песчано-глинистые грунты с преобладанием песков, мощность которых составляет 50-80 м.

Осадочная толща мезокайнозойских пород залегает практически горизонтально на глинах коры выветривания, либо на палеозойских породах. Комплекс твердых по крепости палеозойских пород представлен эффузивными, метаморфическими и осадочно-вулканогенными породами (порфиритами, скарнами, туфами, туффитами, известняками и рудами). К породам средней крепости относятся залегающие среди слабых песчано-глинистых пород, кремнистые и глинистые опоки, распространенные повсеместно.

В верхней части палеозойского комплекса (до глубины 50-100 м) и в тектонических зонах скальные породы характеризуются сильной трещиноватостью и раздробленностью. Характерной чертой месторождений является их блоковая структура, обусловленная наличием крупных и мелких тектонических нарушений. Южно-Сарбайское месторождение, как и Соколовское и Сарбайское, приурочено к дислоцированным нижнекарбоновым вулканогенно-осадочным породам. Породы имеют субмеридиональное простирание с падением на запад под углами 40°- 60°. В верхней части до глубины 50 м породы интенсивно трещиноваты [1, 4, 5].

С позиций ИРГ и геономии разработана планетарная схема-разрез «ИГН модели круговорота компонент полигрунтов Земли по механизму дренажной оболочки (ДО)» которая дополнена инициирующими очагами и мегаструктурами центрального типа (МЦТ) которые представлены в (Рис.6) [1-4].

На рис. 6 планетарной ИГН модели - разрезе представлены стратифицированные горизонты глубинных зон образования полезных ископаемых играющих важную контролирующую роль для активизации георисков. На глубине 5 км. распространены водные силлы (залежь водная) сопряженная с георисками; б. в интервале глубин от 12 до 20 км

в связи с вытеснением воды из осадочных толщ и погребенных флюидов происходит их катастрофическое сжатие и насыщение металлами и солями; в. на глубинах 50-70 км вследствие появления первых молекул воды образуются корни глубинных разломов и индуцированные ими георискиа

На рисунке 6 показаны: 1 – ороген; 2- платформа; 3 - океан; 4 - зона гидратов на суше и газогидратов под океанами; 5 - зона дренажная оболочка (ДО) круговорота вещества; 7. астеносферный слой; направления круговорота полигрунтов: 8 - подземные воды и их растворы проникающие в форме жидкости вертикально вниз в недра; 9 - гидриды и флюиды в парообразной форме поднимающиеся вертикально вверх; 10 - латеральная миграция выносимых из под континентов компонент полигрунтов под базальтовые водоупоры дна акваторий; 11 - наземный круговорот из-за денудации и переноса грунтов в базисы эрозии на дно океанов и морей; 12 - глубинный круговорот полигрунтов из гидратированных океанических литоплит, погружающихся и обезвоживающихся под континентами; 13 - граница между тонкой и средней частями кровли литосферы; 14 - красными стрелками в форме овала показаны круговороты компонент полигрунтов в стратифицированных зонах: активного водообмена и круговорота компонент полигрунтов с поверхности и от 2 до 16 км. в зоне влияния границы 4; замедленный круговорот компонент полигрунтов и водообмена с 16 до 25 км.; выше границы 13; круговорота компонент полигрунтов на глубинах от 25 до 70 км, в форме высокоминерализованных флюидов выше границы 6; 14 - круговорот полигрунтов и водообмен в форме химически связанных и ювенильных вод, с плазмогенными компонентами на глубинах от 70 до 100 км и более. Компоненты МЦТ представлены: 15–инициирующими очагами, формирующими на границе раздела сред и на поверхности зонально-кольцевые системы, например в нашем случае Ишимскую планетарную геосистему (16) и ее внутреннюю Костанайскую кольцевую структуру (17); на модели желтым цветом выделен стратифицированный горизонт ДО.

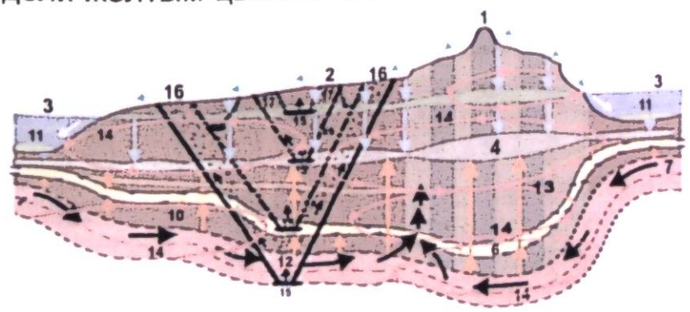


Рис. 6. ИГН модель процесса круговорота компонент полигрунтов по механизму ДО и МЦТ трансформирующие георисками литосферу и формирующие полезные ископаемые.

На ИГН экспликации показана типизация и прогноз возможных георисков, где наиболее напряженные ситуации развиты на Сарбайском и Соколовском, затем Качарском и СПР; наименьшие для Комаровского и Кзыл-Жарского месторождений (Рис.7).

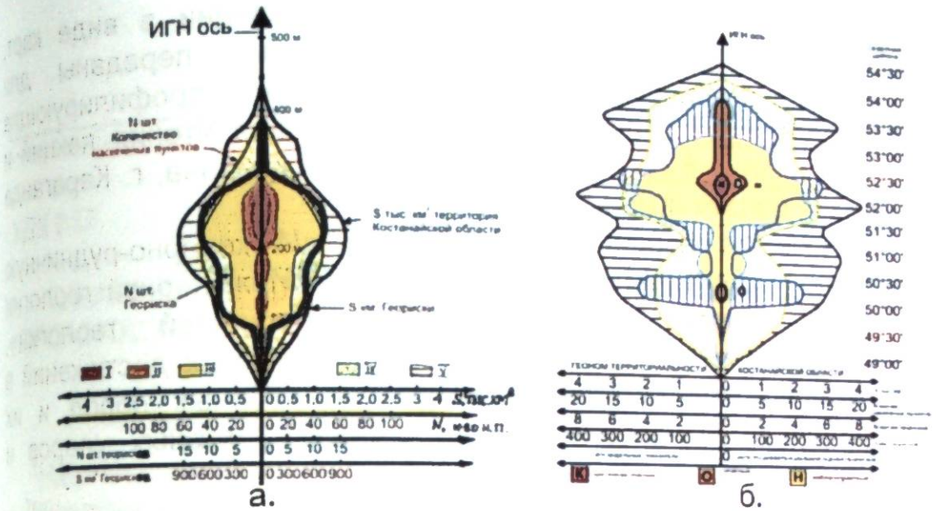
При комплексной оценке индивидуальных показателей интенсивности георисков на основе индикаторов и критериев их оценки с учетом экспертных управленческих решений для каждого района из 17 исследуемых административных районов получены следующие ранжировки: очень высокие степени воздействия георисков (красный цвет, к ним отнесены районы **5, 2, 12, 8)**; высокой степени - оранжевый цвет - районы **6, 11, 13**; средней степени - желтый цвет, районы **7, 10)**; умеренной степени (темно зеленный цвет, районы **3, 14, 17)** и низкой степени (светло зеленный цвет, районы **1, 4, 15, 16)** (Рис.7).

На рисунке 8 представлена составленная «ИГН модель повысотной вертикальной закономерности распределения, типизации и прогноза георисков (а)»; и «ИГН модель латеральной поширотной закономерности распределения, типизации и прогноза георисков (б)» на территории Костанайской области Северного Казахстана.

Таким образом, с позиций ИРГ и геономии месторождения полезных ископаемых исследуемого региона по степени активизации и проявления георисков подразделены на следующие 3 типа.

№ административных районов	ИГН степень населенности			ИГН степень георисков			ИГН степень населенность	ИГН степень георисковое	ИГН интегрирование георисков	ИГН индикаторы и критерии оценки георисков
	N кол-во населенных пунктов	S км площадь районов	р км/кв плотн. располо жения нас. пунктов	N кол-во георисков в районе	S, км опасные от геор - исков	р км/гео риски плотность георисков в районе				
1	8	390	43	1	44	44				КУ- Дискамфорта, СР- Дискамфортная, УО – Выше низкого 4
2	15	420	28	3	63	21				КУ-Бедствия, СР- Дискамфортная, УО – очень большая 10
3	10	362	36	2	2	1				КУ- Дискамфорта, СР- Бедственная, УО – Выше низкого 4
4	7	394	56	1	1	1				КУ- Дискамфорта, СР- Дискамфортная, УО –Низкий 3
5	10	386	39	6	186	31				КУ-Бедствия, СР- Бедственная, УО – очень большая 10
6	8	258	32	1	1	1				КУ- Кризиса, СР- Кризисная, УО – Выше среднего 8
7	9	316	35	2	3	1,5				КУ-Кризиса, СР- Предкризисная, УО – Выше умеренного 6
8	10	373	37	7	204	51				КУ-Бедствия, СР- Бедственная, УО –Большая 9
9	7	428	61	8	274	33				КУ- Кризиса, СР- Кризисная, УО – Выше среднего 8
10	9	624	69	7	157	22,4				КУ- Кризиса, СР- Кризисная, УО – Средний 7
11	16	765	48	5	38	7,6				КУ- Кризиса, СР- Кризисная, УО – Выше среднего 8
12	13	486	38	16	164	16,4				КУ-Бедствия, СР- Бедственная, УО – очень большая 10
13	14	628	45	5	69	13,8				КУ-Кризиса, СР- Кризисная, УО – Выше среднего 8
14	17	875	52	3	62	20,6				КУ-Дискамфорта, СР- Дискамфортная, УО – Выше низкого 4
15	31	2365	76	3	5	1,7				КУ- Дискамфорта, СР- Дискамфортная, УО – Низкий 3
16	26	1488	57	2	3	1,5				КУ- Дискамфорта, СР- Дискамфортная, УО – Низкий 3
17	10	720	72	2	103	51,5				КУ- Дискамфорта, СР-Дискамфортная, УО –Выше низкого 4

Рис. 7 ИГН оценка, типизации и прогноза воздействия георисков на население и территорию на порайоном уровне для Костанайской области.



а. б.

Рис. 8. ИГН модель повысотной вертикальной закономерности распределения, типизации и прогноза георисков (а); ИГН модель латеральной поширотной закономерности распределения, типизации и прогноза георисков (б) на территории Костанайской области Северного Казахстана

Высокой степени георириск характерен для особо сложных инженерных и гидрогеологических условий месторождений: Соколовский, Сарбайский и Южно-Сарбайские карьеры, Ломоносовское месторождение, Приозерный буроугольный разрез, месторождение Шаймерден.

Средней степени георириск характерен для сложных гидрогеологических условий месторождений Качарского и Комаровского карьеров, карьеров КБР.

Умеренной степень георириск имеет место для простых гидрогеологических условий месторождений Лисаковского, Варваринского, Васильковского и Куржункульского карьеров.

В ИРГ (инженерно-рудничной геологии), разрабатываемом автором новом разделе инженерной геологии месторождений полезных ископаемых, георириски трансформирующие кровлю литосферы при освоении 19 рудников с их карьерами и шахтами в Северном Казахстане, наряду с иными факторами имеют тесную связь с скачкообразными катастрофическими и длительными стационапрными проявлениями остаточных напряжений горных пород [10,11].

Выводы

1. Разработана основа нового раздела в инженерной геологии полезных ископаемых, инженерно-рудничная геология-ИРГ, которая дополняет новыми картами, моделями и классификационными экспликациями, классические известные достижения.

2. В ИРГ применением ИГН методологии составлены интегрированные модели и карты типизации и прогноза георисков отсутствующие в классических дисциплинах исследующих рудники.

3. Полученные результаты ИРГ и рекомендации в виде карт, моделей, ИГН классификационных экспликаций, переданы для использования в ответственные структуры МЧС РК и профилирующие ведомства горнорудного производства, а также для чтения лекций и практических занятий в соответствующие вузы г. Костана, г. Караганда (Казахстан) и г. Бишкек (Кыргызстан).

4. В качестве нового обоснования в «Инженерно-рудничную геологию» следует включить, отсутствующие в «Инженерной геологии месторождений полезных ископаемых», «Рудничной геологии», «Рудничной гидрогеологии», результаты новых научных достижений в области исследований остаточных напряжений горных пород и их механических проявлений в виде тектонических горных ударов и землетрясений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Едигенов М.Б. «Горнорудничная гидрогеология и георискы на месторождениях Северного Казахстана». Монография, Бишкек, ИЦ «Текник» КГТУ, 2014, 378 с.
2. Едигенов М.Б. Мониторинг георисков на различных стадиях освоения месторождений Казахстана. Известия вузов. №6, Бишкек. 2014, С. 37-31.
3. Едигенов М.Б. Рекомендации по осушению горных выработок, ведению мониторинга и охране окружающей среды на Ломоносовском месторождении железных руд. Геология и охрана недр, № 1 (54), Алматы, 2015, С. 54-64.
4. Едигенов М.Б., Усупаев Ш.Э., Маралбаев А.О., Туркбаев П.Б. и др. Перспективы освоения месторождений полезных ископаемых Кыргызстана и Казахстана. Горн. журнал, № 8, 2016, С. 10-16.
5. Сергеев Е.М., Комаров И.С. Инженерная геология СССР. Том.1. Русская платформа. М, Изд-во Московского университета, 1978, 528 с.
6. Кунаев Д.С. Металлогеническая зональность территории Казахстана. Алма-Ата, Наука, 1976, 256 с.
7. Соловьев В.В. Карта морфоструктур центрального типа территории СССР. Масштаб 1: 10 000 000 (второе издание). Объяснительная записка. [Карта] / Соловьев В.В. Л, Недра, 1982, 44 с.
8. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Барабошкина Т.А. и др Экологические функции литосферы. М, Изд-во МГУ, 2000, 432 с.
9. Кузнецов О.Л., Ковалев Г.А., Муравьев В.В. Поля напряжений и синэнергетика геосферы. Напряжения в литосфере (глобальные и региональные). Тез. Докл. 1-го межд. семинара. М, 1994. С. 91-92.
10. Тажибаев К.Т. Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород. (Том.1) Бишкек. Алтын Принт-2016, 352 с.
11. Тажибаев К.Т. Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород. (Том.2). Бишкек: Алтын Принт-2016, 357 с.

УДК 517

УРАВНЕНИЕ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПИСАНИЯ ТЕОРИИ ПРОЧНОСТИ МОРА И ОГИБАЮЩИЕ ЛИНИИ КРУГОВ НАПРЯЖЕНИЙ

[1] Т.Б.Дуйшеналиев, [2] Б.Т.Мекенбаев, [3]Б.С.Ордобаев
[1]Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, РФ
[2]Международный университет инновационных технологий, Бишкек, КР
[3]Кыргызско-российский славянский университет им. Б.Ельцина, Бишкек,

Получено уравнение, выражающее количественное соотношение между предельными величинами наименьшего и наибольшего главных напряжений. Приведены опытные круги и построены огибающие линии для каррарского мрамора, песчаника, пироксенита, меломергеля и габбро.

Ключевые слова: главное напряжение, напряженное состояние, теория прочности Мора, предельные круги, огибающая линия, константа.

EQUATION FOR QUANTITATIVE DESCRIPTION OF THE MOHR THEORY OF STRENGTH AND ENVELOPE LINES OF CIRCLES OF STRESSES

[1]Duishenaliev T.B., [2]Mekenbaev B.T., [3]Ordobayev B.S.
[1]National Research University "MEI", Moscow, Russia
[2]International University of Innovation Technologies, Bishkek, Kyrgyzstan
[3]Kyrgyz-Russian Slavic University after B. Yeltsin, Bishkek, Kyrgyzstan

An equation that expresses the quantitative relationship between the limiting values of the smallest and the largest principal stresses is obtained. Experimental circles are presented and envelope lines for Carrara marble, sandstone, pyroxenite, melomergel and gabbro are constructed.

Key words: principal stress, stress state, Mohr theory of strength, limiting circles, envelope line, constant.

Введение

Как известно, основной задачей теории прочности Мора является количественное описание разрушающих напряженных состояний в условиях трехосных напряженных состояний. Предлагаемое в работе [1] уравнение

$$\sigma_3 = \frac{a+b}{2} + \sqrt{\frac{(a-b)^2}{8} + \sigma_1^2}$$

отличается от всех известных тем, что его можно отнести к категории обоснованных, выведенных математически уравнений. Это уравнение, выражающее количественное соотношение между предельными величинами наименьшего σ_3 и наибольшего главных напряжений σ_1, является весьма простым соотношением. Тем не менее, оно определяет все те напряженные состояния, которые приводят к разрушению материала. По этому уравнению можно определить ориентировку тех площадок, по которым происходит разрушение, вычислить нормальное и касательное напряжения на этих площадках [1]. Используя это уравнение можно построить огибающую линию предельных кругов напряжений. Выведенное уравнение содержит две константы *a* и *b*. В работе [1] указан путь их определения. Если для данного материала установлены величины этих констант, то по этому уравнению можно определить все разрушающие данный материал напряженные состояния.

1. Огибающая линия кругов Мора по величинам главных напряжений двух испытаний на трехосное сжатие

Для построения огибающей линии достаточно иметь величины главных напряжений любых предельных состояний трехосного сжатия. Это уравнение [1] приведено ниже:

$$\sigma = \frac{\sigma_3 + \sigma_1 \sigma_3'}{1 + \sigma_3'}$$

$$\tau = \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{1 + \sigma_3'} \sqrt{\sigma_3'} \quad , \qquad (1)$$

где:

$$\sigma_3 = \frac{(\sigma 3_r)^2 - (\sigma 3_s)^2 - (\sigma 1_r)^2 + (\sigma 1_s)^2}{2(\sigma 3_r - \sigma 3_s)} + \\ + \sqrt{\frac{(\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2}{4} + \frac{((\sigma 1_r)^2 - (\sigma 1_s)^2)^2}{4(\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2} - \frac{(\sigma 1_r)^2 + (\sigma 1_s)^2}{2} + \sigma_1^2}$$

$$\sigma_3' = \frac{\sigma_1}{\sqrt{\frac{(\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2}{4} + \frac{((\sigma 1_r)^2 - (\sigma 1_s)^2)^2}{4(\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2} - \frac{(\sigma 1_r)^2 + (\sigma 1_s)^2}{2} + \sigma_1^2}} \qquad (2)$$

В этих уравнениях $\sigma 1_r, \sigma 3_r$ - величины главных напряжений σ_1, σ_3 одного из выбранных состояний, а $\sigma 1_s, \sigma 3_s$ - величины главных напряжений σ_1, σ_3 другого из выбранных состояний.

Ниже, на рисунках 1 – 5, приведены опытные круги и построенные по уравнениям (1) и (2) огибающие линии для каррарского мрамора, песчаника, пироксенита, меломергеля и габбро. Все вычисления и построения осуществлены на ЭВМ, на основе компьютерных программ в системе MathCad.

Каррарский мрамор. Опытные величины главных напряжений в кгс/см^2

$\sigma 1 := (1360\ 2350\ 3150\ 3565\ 4055\ 5550)$

$\sigma 3 := (0\ 250\ 500\ 685\ 845\ 1650)$

Построение опытных предельных кругов напряжений

$\sigma 1 := \sigma 1^T \quad \sigma 3 := \sigma 3^T \quad n := last(\sigma 1) \quad i := 0..n \quad m := 40 \quad j := 0..m \quad \alpha_j := \frac{2\pi}{m} j$

$\sigma_{i,j} := \frac{\sigma 1_i + \sigma 3_i}{2} - \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2} \cdot \cos(\alpha_j) \qquad \tau_{i,j} := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2} \sin(\alpha_j)$

Задание величин главных напряжений двух предельных состояний

$r := 1 \quad s := 5$

Вычисление расчетных величин наименьшего главного напряжения

$$\sigma 3_i := \frac{(\sigma 3_r)^2 - (\sigma 3_s)^2 - (\sigma 1_r)^2 + (\sigma 1_s)^2}{2 \cdot (\sigma 3_r - \sigma 3_s)} + \sqrt{\frac{(\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2}{4} + \frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 1_s)^2\right]^2}{4 (\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2} - \frac{(\sigma 1_r)^2 + (\sigma 1_s)^2}{2} + (\sigma 1_i)^2}$$

Расчетные величины наим. гл. напряжения и определение координат огибающей лини

$\sigma 3^T = [\ 26.501 \quad 250 \quad 510.09 \quad 670.819 \quad 881.653 \quad 1.65 \cdot 10^3$

$$\sigma 3'_i := \frac{\sigma 1_i}{\sqrt{\frac{(\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2}{4} + \frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 1_s)^2\right]^2}{4 \cdot (\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2} - \frac{(\sigma 1_r)^2 + (\sigma 1_s)^2}{2} + (\sigma 1_i)^2}}$$

$x_i := \frac{\sigma 3_i + \sigma 1_i \cdot \sigma 3'_i}{1 + \sigma 3'_i} \qquad y_i := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{1 + \sigma 3'_i} \cdot \sqrt{\sigma 3'_i}$

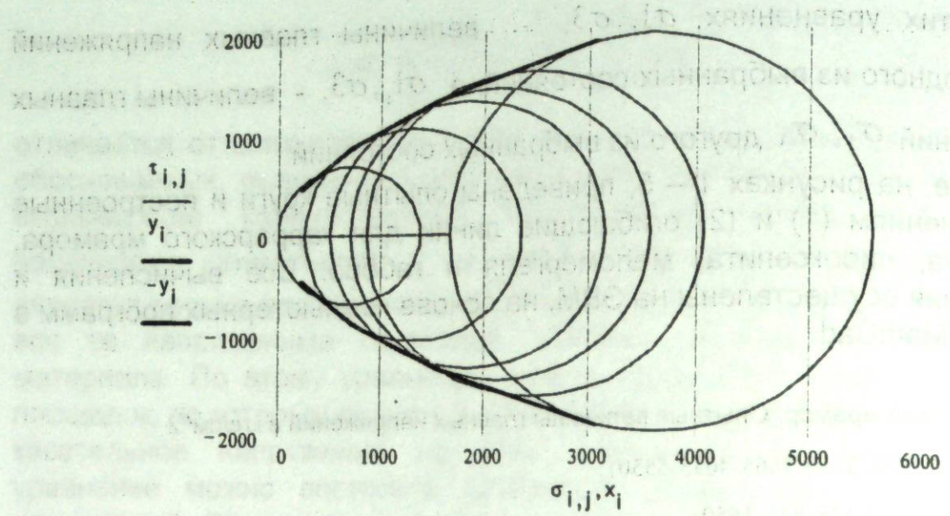


Рис. 1. Опытные предельные круги и огибающая линия, построенная по двум опытным кругам (выбраны второй и шестой круги, каррарский мрамор [3])

Песчаник. Опытные величины главных напряжений в кгс/см^2

σ1 := (690 2320 3135 4850 6475)

σ3 := (0 280 555 1550 2475)

Построение опытных предельных кругов напряжений

$\sigma 1 := \sigma 1^T$ $\sigma 3 := \sigma 3^T$ $n := last(\sigma 1)$ $i := 0 .. n$ $m := 40$ $j := 0 .. m$ $\alpha_j := \frac{2 \cdot \pi}{m} \cdot j$

$$\sigma_{i,j} := \frac{\sigma 1_i + \sigma 3_i}{2} - \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2} \cdot \cos(\alpha_j) \qquad \tau_{i,j} := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2} \cdot \sin(\alpha_j)$$

Задание величин главных напряжений двух предельных состояний

r := 1 s := 4

Вычисление расчетных величин наименьшего главного напряжения

$$\sigma 3_i := \frac{(\sigma 3_r)^2 - (\sigma 3_s)^2 - (\sigma 1_r)^2 + (\sigma 1_s)^2}{2 \cdot (\sigma 3_r - \sigma 3_s)} + \sqrt{\frac{(\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2}{4} + \frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 1_s)^2\right]^2}{4 \cdot (\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2} - \frac{(\sigma 1_r)^2 + (\sigma 1_s)^2}{2} + (\sigma 1_i)^2}$$

Расчетные величины наим. гл. напряжения и определение координат огибающей линии

$\sigma 3^T = [-67.827 \quad 280 \quad 581.316 \quad 1.442 \cdot 10^3 \quad 2.475 \cdot 10^3]$

$$\sigma 3'_i := \frac{\sigma 1_i}{\sqrt{\frac{(\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2}{4} + \frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 1_s)^2\right]^2}{4 \cdot (\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2} - \frac{(\sigma 1_r)^2 + (\sigma 1_s)^2}{2} + (\sigma 1_i)^2}}$$

$$x_i := \frac{\sigma 3_i + \sigma 1_i \cdot \sigma 3'_i}{1 + \sigma 3'_i} \qquad y_i := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{1 + \sigma 3'_i} \cdot \sqrt{\sigma 3'_i}$$

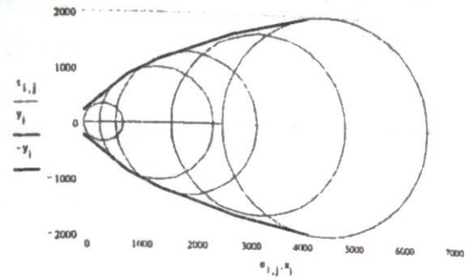


Рис. 2. Опытные предельные круги и огибающая линия, построенная по двум опытным кругам (выбраны второй и пятый круги, песчаник [4])

Пироксенит. Опытные величины главных напряжений в кгс/см^2

σ1 := (3560 7760 8880 11200)

σ3 := (0 720 1040 1960)

Построение опытных предельных кругов напряжений

$\sigma 1 := \sigma 1^T$ $\sigma 3 := \sigma 3^T$ $n := last(\sigma 1)$ $i := 0 .. n$ $m := 40$ $j := 0 .. m$ $\alpha_j := \frac{2 \cdot \pi}{m} \cdot j$

$$\sigma_{i,j} := \frac{\sigma 1_i + \sigma 3_i}{2} - \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2} \cdot \cos(\alpha_j) \qquad \tau_{i,j} := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2} \cdot \sin(\alpha_j)$$

Задание величин главных напряжений двух предельных состояний

r := 0 s := 3

Вычисление расчетных величин наименьшего главного напряжения

$$\sigma 3_i := \frac{(\sigma 3_r)^2 - (\sigma 3_s)^2 - (\sigma 1_r)^2 + (\sigma 1_s)^2}{2 \cdot (\sigma 3_r - \sigma 3_s)} + \sqrt{\frac{(\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2}{4} + \frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 1_s)^2\right]^2}{4 \cdot (\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2} - \frac{(\sigma 1_r)^2 + (\sigma 1_s)^2}{2} + (\sigma 1_i)^2}$$

Расчетные величины наим. гл. напряжения и определение координат огибающей л

$\sigma 3^T = [0 \quad 842.731 \quad 1.166 \cdot 10^3 \quad 1.96 \cdot 10^3]$

$$\sigma 3'_i := \frac{\sigma 1_i}{\sqrt{\frac{(\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2}{4} + \frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 1_s)^2\right]^2}{4 \cdot (\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2} - \frac{(\sigma 1_r)^2 + (\sigma 1_s)^2}{2} + (\sigma 1_i)^2}}$$

$$x_i := \frac{\sigma 3_i + \sigma 1_i \cdot \sigma 3'_i}{1 + \sigma 3'_i} \qquad y_i := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{1 + \sigma 3'_i} \cdot \sqrt{\sigma 3'_i}$$

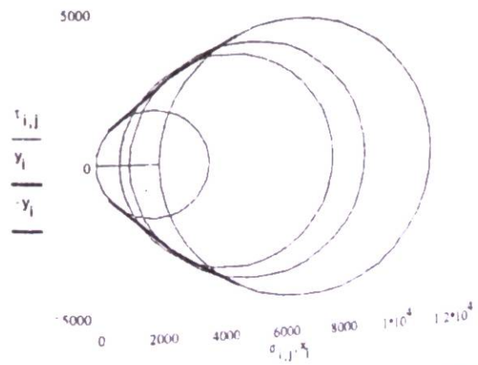


Рис. 3. Опытные предельные круги и огибающая линия, построенная по двум опытным кругам (выбраны нулевой и третий круги, пироксенит [4])

Меломергель. Опытные величины главных напряжений в кгс/см^2

$\sigma 1 := (40\ 257\ 505\ 790\ 1005\ 1405)$

$\sigma 3 := (0\ 50\ 100\ 200\ 300\ 600)$

Построение опытных предельных кругов напряжений

$\sigma 1 := \sigma 1^T \quad \sigma 3 := \sigma 3^T \quad n := last(\sigma 1) \quad i := 0..n \quad m := 40 \quad j := 0..m \quad \alpha_j := \frac{2\cdot\pi}{m}\cdot j$

$\sigma_{i,j} := \frac{\sigma 1_i + \sigma 3_i}{2} - \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2}\cdot\cos(\alpha_j) \qquad \tau_{i,j} := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2}\cdot\sin(\alpha_j)$

Задание величин главных напряжений двух предельных состояний

$r := 0 \qquad s := 5$

Вычисление расчетных величин наименьшего главного напряжения

$$\sigma 3_i := \frac{(\sigma 3_r)^2 - (\sigma 3_s)^2 - (\sigma 1_r)^2 + (\sigma 1_s)^2}{2\cdot(\sigma 3_r - \sigma 3_s)} + \sqrt{\frac{(\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2}{4} + \frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 1_s)^2\right]^2}{4\cdot(\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2} - \frac{(\sigma 1_r)^2 + (\sigma 1_s)^2}{2} + (\sigma 1_i)^2}$$

Расчетные величины наим. гл. напряжения и определение координат огибающей ли

$\sigma 3^T = [\,0 \quad 23.772 \quad 91.207 \quad 214.515 \quad 333.787 \quad 600\,]$

$$\sigma 3'_i := \frac{\sigma 1_i}{\sqrt{\frac{(\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2}{4} + \frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 1_s)^2\right]^2}{4\cdot(\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2} - \frac{(\sigma 1_r)^2 + (\sigma 1_s)^2}{2} + (\sigma 1_i)^2}}$$

$$x_i := \frac{\sigma 3_i + \sigma 1_i\cdot\sigma 3'_i}{1 + \sigma 3'_i} \qquad y_i := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{1 + \sigma 3'_i}\cdot\sqrt{\sigma 3'_i}$$

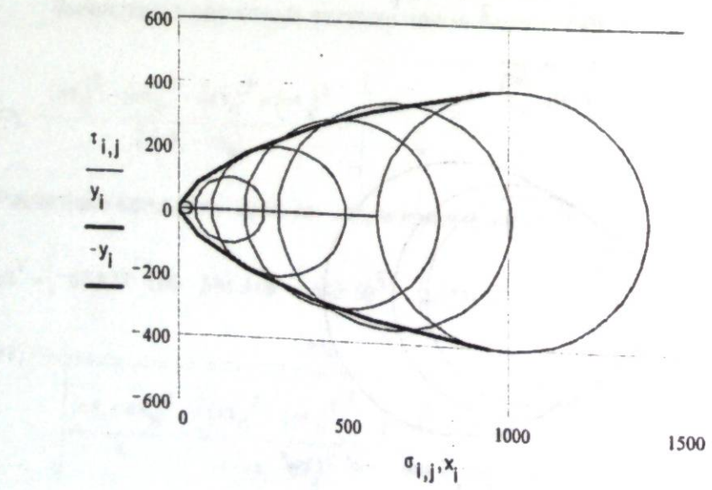


Рис. 4. Опытные предельные круги и огибающая линия, построенная по двум опытным кругам (выбраны нулевой и шестой круги, меломергель [5]).

Габбро. Опытные величины главных напряжений в кгс/см^2

$\sigma 1 := (2006\ 3510\ 4180\ 4820\ 5250\ 5580)$

$\sigma 3 := (0\ 250\ 400\ 600\ 750\ 900)$

Построение опытных предельных кругов напряжений

$\sigma 1 := \sigma 1^T \quad \sigma 3 := \sigma 3^T \quad n := last(\sigma 1) \quad i := 0..n \quad m := 40 \quad j := 0..m \quad \alpha_j := \frac{2\cdot\pi}{m}\cdot j$

$\sigma_{i,j} := \frac{\sigma 1_i + \sigma 3_i}{2} - \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2}\cdot\cos(\alpha_j) \qquad \tau_{i,j} := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2}\cdot\sin(\alpha_j)$

Задание величин главных напряжений двух предельных состояний

$r := 1 \qquad s := 5$

Вычисление расчетных величин наименьшего главного напряжения

$$\sigma 3_i := \frac{(\sigma 3_r)^2 - (\sigma 3_s)^2 - (\sigma 1_r)^2 + (\sigma 1_s)^2}{2\cdot(\sigma 3_r - \sigma 3_s)} + \sqrt{\frac{(\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2}{4} + \frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 1_s)^2\right]^2}{4\cdot(\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2} - \frac{(\sigma 1_r)^2 + (\sigma 1_s)^2}{2} + (\sigma 1_i)^2}$$

Расчетные величины наим. гл. напряжения и определение координат огибающей линии

$\sigma 3^T = [-46.268 \quad 250 \quad 430.915 \quad 630.502 \quad 778.756 \quad 900\,]$

$$\sigma 3'_i := \frac{\sigma 1_i}{\sqrt{\frac{(\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2}{4} + \frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 1_s)^2\right]^2}{4\cdot(\sigma 3_r - \sigma 3_s)^2} - \frac{(\sigma 1_r)^2 + (\sigma 1_s)^2}{2} + (\sigma 1_i)^2}}$$

$$x_i := \frac{\sigma 3_i + \sigma 1_i\cdot\sigma 3'_i}{1 + \sigma 3'_i} \qquad y_i := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{1 + \sigma 3'_i}\cdot\sqrt{\sigma 3'_i}$$

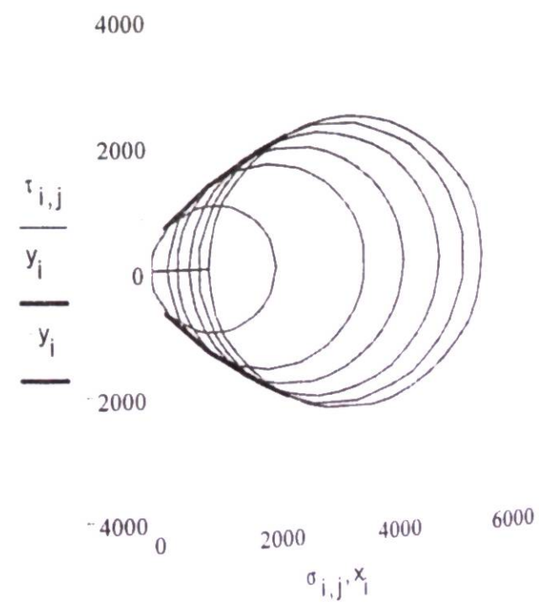


Рис. 5. Опытные предельные круги и огибающая линия, построенная по двум опытным кругам (выбраны нулевой и шестой круги, габбро [6]).

2. Построение огибающей линии через предел прочности на осевое сжатие и величины главных напряжений разрушающего напряженного состояния

В камерах трехосного сжатия образцы горных пород можно довести до разрушения при осевом сжатии без бокового давления (осевое сжатие) и при осевом сжатии с приложением к боковой поверхности образца гидростатического давления. В таких испытаниях определяются предел прочности на осевое сжатие $\sigma_{сж}$, а также ряд величин главных напряжений, при которых образец разрушается.

Таким образом, в таких испытаниях материал не испытывается на осевое растяжение, т.е. предел прочности на осевое растяжение σ_p не определяется. Для таких испытаний величины констант a, b необходимо выразить через величины предела прочности на осевое сжатие и через величины какой-либо пары главных напряжений. Уравнение огибающей линии для этого случая имеет вид [1]:

$$\sigma = \frac{\sigma_3 + \sigma_1 \sigma_3'}{1 + \sigma_3'}$$

$$\tau = \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{1 + \sigma_3'} \sqrt{\sigma_3'}, \qquad (3)$$

где:

$$\sigma_3 = \frac{(\sigma 3_r)^2 - (\sigma 1_r)^2 + \sigma c^2}{2\sigma 3_r} + \sqrt{\frac{((\sigma 1_r)^2 - (\sigma 3_r)^2)^2 + \sigma c^2(\sigma c^2 - 2(\sigma 1_r)^2 - 2(\sigma 3_r)^2)}{4\sigma 3_r{}^2} + (\sigma_1)^2}$$

$$\sigma_3' = \frac{\sigma_1}{\sqrt{\frac{((\sigma 1_r)^2 - (\sigma 3_r)^2)^2 + \sigma c^2(\sigma c^2 - 2(\sigma 1_r)^2 - 2(\sigma 3_r)^2)}{4\sigma 3_r{}^2} + (\sigma_1)^2}} \qquad (4)$$

Огибающие линии, построенные по этим уравнениям приведены на рисунках 6 -10. Как и в предыдущем пункте, все вычисления и построения осуществлены на ЭВМ, на основе компьютерных программ в системе MathCad.

Каррарский мрамор. Опытные величины главных напряжений в кгс/см^2

$\sigma 1 := (1360\ 2350\ 3150\ 3565\ 4055\ 5550)$

$\sigma 3 := (0\ 250\ 500\ 685\ 845\ 1650)$

Построение опытных предельных кругов напряжений

$\sigma 1 := \sigma 1^T$ $\quad \sigma 3 := \sigma 3^T$ $\quad n := last(\sigma 1)$ $\quad i := 0..n$ $\quad m := 40$ $\quad j := 0..m$ $\quad \alpha_j := \frac{2\cdot\pi}{m} j$

$\sigma_{i,j} := \frac{\sigma 1_i + \sigma 3_i}{2} - \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2} \cdot \cos(\alpha_j)$ $\quad \tau_{i,j} := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2} \cdot \sin(\alpha_j)$

Задание величин предела прочности на осевое сжатие и главных напряжений одного предельного состояния

$\sigma c := \sigma 1_0$ $\quad r := 4$

Вычисление расчетных величин наименьшего главного напряжения

$$\sigma 3_i := \frac{(\sigma 3_r)^2 - (\sigma 1_r)^2 + \sigma c^2}{2\cdot\sigma 3_r} + \sqrt{\frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 3_r)^2\right]^2 + \sigma c^2\left[\sigma c^2 - 2\cdot(\sigma 1_r)^2 - 2\cdot(\sigma 3_r)^2\right]}{4\cdot(\sigma 3_r)^2} + (\sigma 1_i)^2}$$

Расчетные величины наим. гл. напряжения и определение координат огибающей лини

$\sigma 3^T = [\ 0\ \ 220.648\ \ 477.604\ \ 636.487\ \ 845\ \ 1.606\cdot 10^3$

$$\sigma 3'_i := \frac{\sigma 1_i}{\sqrt{\frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 3_r)^2\right]^2 + \sigma c^2\left[\sigma c^2 - 2\cdot(\sigma 1_r)^2 - 2\cdot(\sigma 3_r)^2\right]}{4\cdot(\sigma 3_r)^2} + (\sigma 1_i)^2}}$$

$x_i := \frac{\sigma 3_i + \sigma 1_i \cdot \sigma 3'_i}{1 + \sigma 3'_i}$ $\quad y_i := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{1 + \sigma 3'_i} \cdot \sqrt{\sigma 3'_i}$

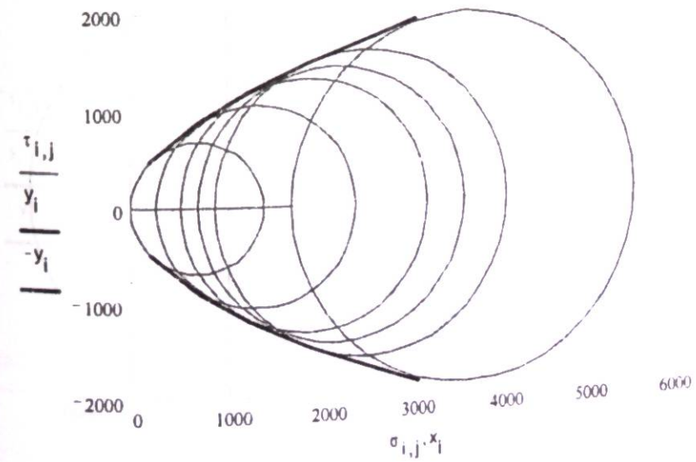


Рис. 6. Опытные предельные круги и огибающая линия, построенная по пределу прочности и одному опытному кругу (выбран пятый круг, каррарский мрамор [3]).

Песчаник. Опытные величины главных напряжений в кгс/см^2

$\sigma 1 := (690\ 2320\ 3135\ 4850\ 6475)$

$\sigma 3 := (0\ 280\ 555\ 1550\ 2475)$

Построение опытных предельных кругов напряжений

$\sigma 1 := \sigma 1^T \quad \sigma 3 := \sigma 3^T \quad n := last(\sigma 1) \quad i := 0..n \quad m := 40 \quad j := 0..m \quad \alpha_j := \frac{2\cdot\pi}{m}\cdot j$

$\sigma_{i,j} := \frac{\sigma 1_i + \sigma 3_i}{2} - \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2}\cdot\cos(\alpha_j) \qquad \tau_{i,j} := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2}\cdot\sin(\alpha_j)$

Задание величин предела прочности на осевое сжатие и главных напряжений одного предельного состояния

$\sigma c := \sigma 1_0 \qquad r := 4$

Вычисление расчетных величин наименьшего главного напряжения

$$\sigma 3_i := \frac{(\sigma 3_r)^2 - (\sigma 1_r)^2 + \sigma c^2}{2\cdot\sigma 3_r} + \sqrt{\frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 3_r)^2\right]^2 + \sigma c^2\cdot\left[\sigma c^2 - 2\cdot(\sigma 1_r)^2 - 2\cdot(\sigma 3_r)^2\right]}{4\cdot(\sigma 3_r)^2} + (\sigma 1_i)^2}$$

Расчетные величины наим. гл. напряжения и определение координат огибающей линии

$\sigma 3^T = [\ 0 \quad 335.861 \quad 627.662 \quad 1.464\cdot 10^3 \quad 2.475\cdot 10^3\ ]$

$$\sigma 3'_i := \frac{\sigma 1_i}{\sqrt{\frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 3_r)^2\right]^2 + \sigma c^2\cdot\left[\sigma c^2 - 2\cdot(\sigma 1_r)^2 - 2\cdot(\sigma 3_r)^2\right]}{4\cdot(\sigma 3_r)^2} + (\sigma 1_i)^2}}$$

$x_i := \frac{\sigma 3_i + \sigma 1_i\cdot\sigma 3'_i}{1+\sigma 3'_i} \qquad y_i := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{1+\sigma 3'_i}\cdot\sqrt{\sigma 3'_i}$

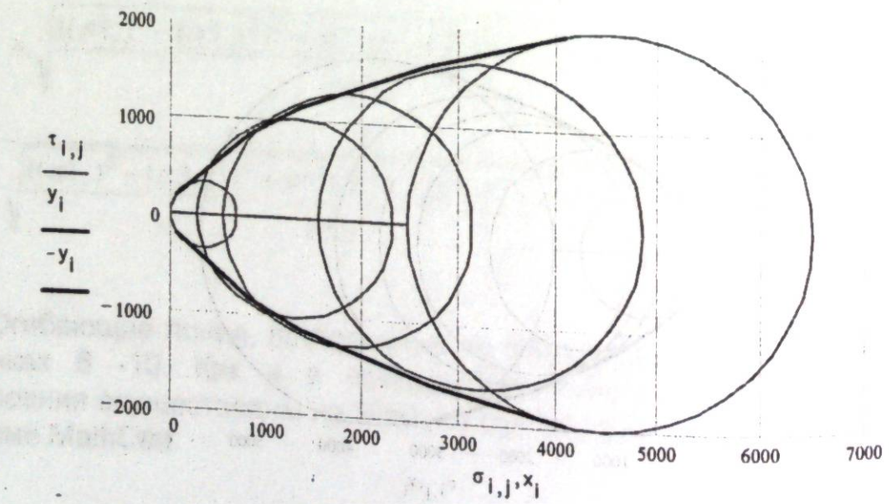


Рис. 7. Опытные предельные круги и огибающая линия, построенная по пределу прочности и одному опытному кругу (выбран пятый круг, песчаник [4])

Пироксенит. Опытные величины главных напряжений в кгс/см^2

$\sigma 1 := (3560\ 7760\ 8880\ 11200)$

$\sigma 3 := (0\ 720\ 1040\ 1960)$

Построение опытных предельных кругов напряжений

$\sigma 1 := \sigma 1^T \quad \sigma 3 := \sigma 3^T \quad n := last(\sigma 1) \quad i := 0..n \quad m := 40 \quad j := 0..m \quad \alpha_j := \frac{2\cdot\pi}{m}\cdot j$

$\sigma_{i,j} := \frac{\sigma 1_i + \sigma 3_i}{2} - \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2}\cdot\cos(\alpha_j) \qquad \tau_{i,j} := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2}\cdot\sin(\alpha_j)$

Задание величин предела прочности на осевое сжатие и главных напряжений одного предельного состояния

$\sigma c := \sigma 1_0 \qquad r := 4$

Вычисление расчетных величин наименьшего главного напряжения

$$\sigma 3_i := \frac{(\sigma 3_r)^2 - (\sigma 1_r)^2 + \sigma c^2}{2\cdot\sigma 3_r} + \sqrt{\frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 3_r)^2\right]^2 + \sigma c^2\cdot\left[\sigma c^2 - 2\cdot(\sigma 1_r)^2 - 2\cdot(\sigma 3_r)^2\right]}{4\cdot(\sigma 3_r)^2} + (\sigma 1_i)^2}$$

Расчетные величины наим. гл. напряжения и определение координат огибающей линии

$\sigma 3^T = [\ 0 \quad 720 \quad 1.04\cdot 10^3 \quad 1.96\cdot 10^3\ ]$

$$\sigma 3'_i := \frac{\sigma 1_i}{\sqrt{\frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 3_r)^2\right]^2 + \sigma c^2\cdot\left[\sigma c^2 - 2\cdot(\sigma 1_r)^2 - 2\cdot(\sigma 3_r)^2\right]}{4\cdot(\sigma 3_r)^2} + (\sigma 1_i)^2}}$$

$x_i := \frac{\sigma 3_i + \sigma 1_i\cdot\sigma 3'_i}{1+\sigma 3'_i} \qquad y_i := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{1+\sigma 3'_i}\cdot\sqrt{\sigma 3'_i}$

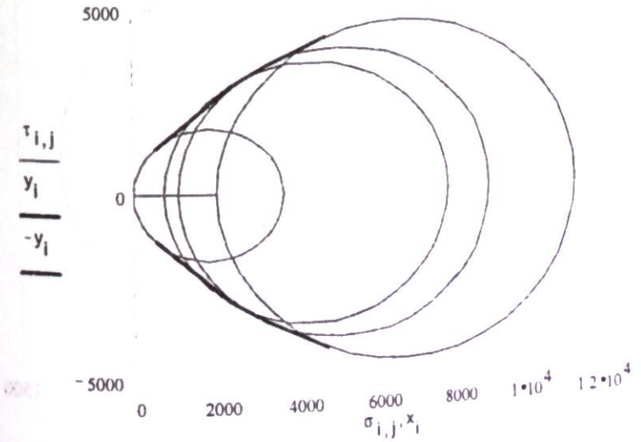


Рис. 8. Опытные предельные круги и огибающая линия, построенная по пределу прочности и одному опытному кругу (выбран пятый круг, пироксенит [4]).

Меломергель. Опытные величины главных напряжений в кгс/см^2

$\sigma 1 := (40\ 257\ 505\ 790\ 1005\ 1405)$

$\sigma 3 := (0\ 50\ 100\ 200\ 300\ 600)$

Построение опытных предельных кругов напряжений

$\sigma 1 := \sigma 1^T \quad \sigma 3 := \sigma 3^T \quad n := last(\sigma 1) \quad i := 0..n \quad m := 40 \quad j := 0..m \quad \alpha_j := \frac{2\cdot\pi}{m}\cdot j$

$\sigma_{i,j} := \frac{\sigma 1_i + \sigma 3_i}{2} - \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2}\cdot\cos(\alpha_j) \qquad \tau_{i,j} := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2}\cdot\sin(\alpha_j)$

Задание величин предела прочности на осевое сжатие и главных напряжений одного предельного состояния

$\sigma c := \sigma 1_0 \qquad r := 4$

Вычисление расчетных величин наименьшего главного напряжения

$$\sigma 3_i := \frac{(\sigma 3_r)^2 - (\sigma 1_r)^2 + \sigma c^2}{2\cdot\sigma 3_r} + \sqrt{\frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 3_r)^2\right]^2 + \sigma c^2\cdot\left[\sigma c^2 - 2\cdot(\sigma 1_r)^2 - 2\cdot(\sigma 3_r)^2\right]}{4\cdot(\sigma 3_r)^2} + (\sigma 1_i)^2}$$

Расчетные величины наим. гл. напряжения и определение координат огибающей линии

$\sigma 3^T = [\ 0\ \ 20.909\ \ 80.655\ \ 191.374\ \ 300\ \ 546.668\ ]$

$$\sigma 3'_i := \frac{\sigma 1_i}{\sqrt{\frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 3_r)^2\right]^2 + \sigma c^2\cdot\left[\sigma c^2 - 2\cdot(\sigma 1_r)^2 - 2\cdot(\sigma 3_r)^2\right]}{4\cdot(\sigma 3_r)^2} + (\sigma 1_i)^2}}$$

$x_i := \frac{\sigma 3_i + \sigma 1_i\cdot\sigma 3'_i}{1+\sigma 3'_i} \qquad y_i := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{1+\sigma 3'_i}\cdot\sqrt{\sigma 3'_i}$

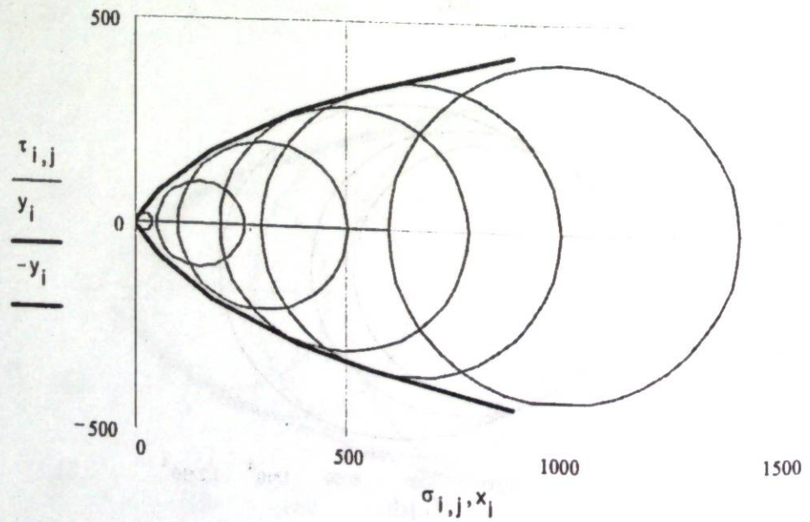


Рис. 9. Опытные предельные круги и огибающая линия, построенная по пределу прочности и одному опытному кругу (выбран пятый круг, меломергель [5]).

Габбро. Опытные величины главных напряжений в кгс/см^2

$\sigma 1 := (2006\ 3510\ 4180\ 4820\ 5250\ 5580)$

$\sigma 3 := (0\ 250\ 400\ 600\ 750\ 900)$

Построение опытных предельных кругов напряжений

$\sigma 1 := \sigma 1^T \quad \sigma 3 := \sigma 3^T \quad n := last(\sigma 1) \quad i := 0..n \quad m := 40 \quad j := 0..m \quad \alpha_j := \frac{2\cdot\pi}{m}\cdot j$

$\sigma_{i,j} := \frac{\sigma 1_i + \sigma 3_i}{2} - \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2}\cdot\cos(\alpha_j) \qquad \tau_{i,j} := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{2}\cdot\sin(\alpha_j)$

Задание величин предела прочности на осевое сжатие и главных напряжений одного предельного состояния

$\sigma c := \sigma 1_0 \qquad r := 4$

Вычисление расчетных величин наименьшего главного напряжения

$$\sigma 3_i := \frac{(\sigma 3_r)^2 - (\sigma 1_r)^2 + \sigma c^2}{2\cdot\sigma 3_r} + \sqrt{\frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 3_r)^2\right]^2 + \sigma c^2\cdot\left[\sigma c^2 - 2\cdot(\sigma 1_r)^2 - 2\cdot(\sigma 3_r)^2\right]}{4\cdot(\sigma 3_r)^2} + (\sigma 1_i)^2}$$

Расчетные величины наим. гл. напряжения и определение координат огибающей линии

$\sigma 3^T = [\ 0\ \ 268.454\ \ 432.876\ \ 614.681\ \ 750\ \ 860.834\ ]$

$$\sigma 3'_i := \frac{\sigma 1_i}{\sqrt{\frac{\left[(\sigma 1_r)^2 - (\sigma 3_r)^2\right]^2 + \sigma c^2\cdot\left[\sigma c^2 - 2\cdot(\sigma 1_r)^2 - 2\cdot(\sigma 3_r)^2\right]}{4\cdot(\sigma 3_r)^2} + (\sigma 1_i)^2}}$$

$x_i := \frac{\sigma 3_i + \sigma 1_i\cdot\sigma 3'_i}{1+\sigma 3'_i} \qquad y_i := \frac{\sigma 1_i - \sigma 3_i}{1+\sigma 3'_i}\cdot\sqrt{\sigma 3'_i}$

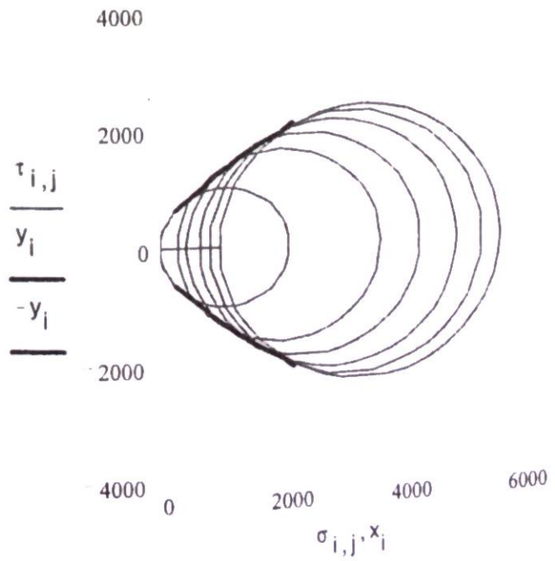


Рис. 10. Опытные предельные круги и огибающая линия, построенная по пределу прочности и одному опытному кругу (выбран пятый круг, габбро [6]).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дуйшеналиев Т.Б. Количественное описание теории прочности Мора [Текст] / Т.Б. Дуйшеналиев // Известия Национальной академии наук КР. - №4.- 2012.- С. 47-50.
2. Дуйшеналиев Т.Б. Неклассические решения механики деформируемого тела. – М.: Изд-во МЭИ, 2017. – 400 с.
3. Карман Т. Опыты на всестороннее сжатие [Текст] / Т. Карман // Новые идеи в технике. Сб. статей. - 1915. - №1. - С. 51-102.
4. Кунтыш М.Ф. Исследование метода определения основных физико-механических характеристик горных пород, используемых при решении задач горного давления. Автореферат дисс... канд. техн. наук.- М., 1964.- 24 с.
5. Койфман М.И. и др. Прочность горных пород в объемном напряженном состоянии [Текст] /М.И. Койфман и др. - М.: Наука, 1964.- 34 с.
6. Ставрогин А.Н. О предельных состояниях и деформации горных пород [Текст] / А.Н.Ставрогин // Горное давление. Сб. ВНИМИ. - Л., 1965. -№ 59. - С. 33–62.

УДК 552.08:53

ЗОНЫ ТЕРМОБАРИЧЕСКОГО РАЗУПЛОТНЕНИЯ ПОРОД ЗЕМНОЙ КОРЫ – ЕСТЕСТВЕННЫЕ СПУТНИКИ СЕЙСМО-ТЕКТОНИЧЕСКИ АКТИВНЫХ РЕГИОНОВ

В.А. Корчин, П.А. Буртный, Е.Е. Карнаухова
Институт геофизики им. С.И.Субботина НАН Украины, г. Киев

На основании обобщения геолого-геофизических материалов о Закарпатском прогибе и данных о физических свойствах пород (аналогов изучаемой площади) при высоких давлениях и температурах построена обобщенная петрофизическая темобарическая модель региона (вдоль профиля ГСЗ). Рассмотрена связь зон низких сейсмических скоростей с локализациями коровых землетрясений.

Ключевые слова: давление, температура, плотность, скорость, зоны инверсии плотности и скорости, землетрясения.

DECOMPACTION THERMOBARIC ZONES OF THE EARTH'S CRUST ARE NATURAL SATELLITES OF SEISMO-TECTONIC ACTIVE REGIONS

Valery Korchin, Petro Burtnyi, Elena Karnaukhova
Institutes of Geophysics, NAS Ukraine, Kiev

Based on the generalization of geological and geophysical materials on the Transcarpathian flexure and data on the physical properties of rocks (anelogists of the area under study), a generalized petrophysical temobaric model of the region (along the DSS profile) is constructed at high pressures and temperatures. The connection between zones of low seismic velocity and localization of crustal earthquakes is considered.

Keywords: pressure, temperature, density, velocity, zones of inversion of density and velocity, earthquakes

Введение

Одной из задач комплексной интерпретации геофизических данных является построение согласованной модели литосферы Земли, в которой расчетные волновые и гравитационные поля совпадают с наблюденными. Петрофизическое термобарическое моделирование (ПТБМ) участков литосферы УЩ с коровыми зонами низких сейсмических скоростей показало, что ЗНС в коре слабо зависят от

минерального состава пород на соответствующих глубинах, а в первую очередь, связаны с геотермической обстановкой изучаемой площади [1-5]. Приобретая характер широкомасштабной системы сквозных, глубинных нарушений в коре, указанные зоны в период активизации тектономагматических процессов являются наиболее проницаемыми. С ними связывается повышение интенсивности теплового потока, поступление продуктов магматизма (в том числе, в виде гидротермальных растворов) и активизация процессов метасоматоза. Существующие в земной коре, такие ослабленные зоны с пониженными упругими характеристиками и плотностями представляют собой зоны повышенной проницаемости для восходящих гидротермальных растворов и флюидов мантийного происхождения. Это зоны, в пределах которых с наибольшей интенсивностью проходят различные процессы метасоматоза, образования и локализации полезных ископаемых. Действительно, сопоставляя положение ЗНС и зон разуплотнения с участками районирования месторождений полезных ископаемых Кировоградского рудного района, получено удовлетворительное согласие.

В работе предполагается установить связи упруго-плотностных аномалий земной коры с активизацией сейсмотектонических зон, регистрируемых в виде маломощных, неглубоких землетрясений. Для этого рассмотрены особенности геологического строения, структура геотермического поля и характер сейсмотектонических процессов района Закарпатского погиба, где обнаружены зоны низких сейсмических скоростей и масса эпицентров коровых землетрясений.

Геолого-геофизическая обстановка Закарпатья (Украина). Комплексный анализ сейсмичности, геодинамики и вулканической активности в Карпатском регионе Украины базируется на новых данных геологических, геофизических, геодезических, структурных и геоморфологических исследований [4-13].

Закарпатский внутренний прогиб являются частью Карпатской складчатой области, где на рубеже палеогена и неогена произошла существенная перестройка тектонического плана, которая привела к значительному различию в строении земной коры региона. Активные постальпийские тектонические процессы привели к формированию, как самого прогиба, так и молодых вулканических структур. Ряд авторов считают возможным рассматривать Закарпатский прогиб как структуру, наложенную на разные тектонические зоны доорогенных Карпат. На рубеже палеогена и неогена, очевидно, произошла существенная перестройка тектонического плана [8-11]. На территории Украины прогиб протягивается с северо-запада на юго-восток и включает в себя две основные структуры: северо-западную Чоп-Мукачевскую впадину, расположенную на центральных массивах Внутренних Карпат и

Солотвинскую впадину на юго-востоке, наложенную на флишевые зоны Внешних Карпат. Отделяет их друг от друга Выгорлат-Гутинская вулканическая гряда. В пределах Закарпатья Вигорлат-Гутинский *вулканический хребет* простирается узкой полосой (длина около 120 км, ширина 8-25 км) с северо-запада на юго-восток, по южному крылу Закарпатского глубинного разлома – тектонического шва, разделяющего Закарпатский прогиб и Складчатые Карпаты, далее на юге, отделяя Чоп-Мукачевскую и Солотвинскую впадины соответственно.

Для Чоп-Мукачевской впадины особенно характерна блоковая тектоника, выраженная в Солотвинской гораздо менее рельефно. Здесь проявляются более активные и дифференцированные вертикальные и горизонтальные движения, более высокая сейсмичность [6-10]. Слабая изученность глубинного строения Закарпатья, особенно верхней части земной коры в диапазоне глубин 3-10 км, не позволяла решить ряд принципиальных вопросов тектоники и сейсмичности Карпат. В 1967 г. Институтом геофизики АН УССР были проведены исследования КМПВ – ГСЗ по профилю Чоп – Великий Бычков, проходящему вдоль простирания всего Закарпатского прогиба (рис.1).



Рис. 1 – сейсмический разрез земной коры и локализация гипоцентров местных землетрясений вдоль Закарпатского прогиба (РП-17) по [6-10]. 1-преломляющие горизонты с указанием граничной скорости, 2-отражающие горизонты и их номера, 3-граница Мохо, 4-разломы, 5-очаги землетрясений, треугольники– глубокие скважины.

Бурением установлено, что фундамент Закарпатского прогиба сложен метаморфическими сланцами палеозоя, доломитами и доломитизированными известняками триаса, мергелями и аргиллитами с песчаниками верхнего мела, а также песчано-глинистыми образованиями палеогена [10]. Отложения палеозоя вскрыты в северо-западной части прогиба; мела и палеогена – преимущественно на юго-востоке, в Солотвинской впадине. Таким образом, с северо-запада на юго-восток происходит последовательная смена основания

Закарпатского прогиба все более молодыми отложениями. Многочисленные разломы, четко фиксируемые как геофизическими, так и геологическими методами исследования [10,11], обусловливают сложный блоковый характер его строения. Ниже приводим данные ГСЗ, необходимые для построения петрофизической термобарической модели Закарпатского прогиба.

Преломленно-рефрагированные волны характеризуют осадочный чехол (кажущиеся скорости Vp=1,7-4,8 км/сек.) мезозойско-палеогенового основания прогиба (Vp =5,3-6,0 км/сек) и палеозойский фундамент (Vp =6,0-6,4 км/сек), а в Солотвинской впадине – также поверхность предполагаемого докембрийского субстрата (Vp =6,2-6,5 км/сек) и раздел Конрада (Vp =6,6-6,8 км/сек). Скорость преломленной волны от раздела М - Vp =7,5-8,5 км/сек.

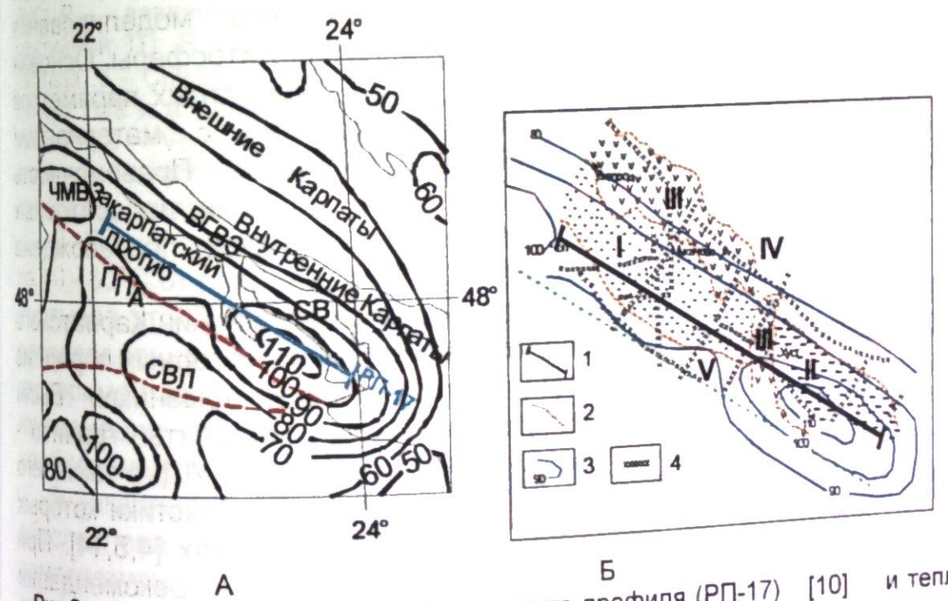
Минимальные мощности горизонта, слагающего складчатое основание Закарпатского прогиба (3 км), характерны для юго-восточной части Чоп-Мукачевской впадины, в Солотвинской впадине, мощность его увеличивается до 4,0-4,5 км. Граничные скорости преломленного горизонта II (6,1-6,4км/сек) свидетельствуют о появлении в разрезе земной коры метаморфизованных образований, обычно относимых к «гранитоидам». Геологические материалы по окружающим Закарпатский прогиб структурам дают достаточно оснований для отнесения их к палеозою. Глубины горизонта II меняются вдоль профиля от 4,5 до 8 км. Под палеозойским комплексом выделяется слой (горизонт III) со скоростью v_n=6,0-6,1 км/сек. *Геологическая сущность этого слоя авторам неясна* (А.В.Чекунов,1969 ст.62). Ниже мы попытаемся внести ясность в этот вопрос и объяснить природу ЗНС.

Сейсмический горизонт IV ограничивает сверху слой, характеризующийся скоростями 6,0-6,4 км/сек. Этот слой имеет «гранитные» скорости и подстилается разделом Конрада. Глубины до этого горизонта изменяются вдоль профиля от 6,5 до 14 км. Поверхность Конрада (горизонт V), характеризующаяся скоростями 6,7-7,0 км/сек, расположена на глубинах 6-17,5 км (наименьшие глубины на ЮВ Солотвинской впадины). Глубины и рельеф горизонтов II и V определяют мощность «гранитного» слоя. В Чоп-Мукачевской впадине мощность этого слоя (8-12 км) значительно больше, чем в Солотвинской (3-6 км). Максимальная толщина «гранита» наблюдается на участке Залужская структура – Выгорлат-Гутинский хребет. При переходе от последнего к Солотвинской впадине мощность «гранита» сокращается вдвое.

Горизонт VI служит поверхностью второго слоя с пониженными скоростями в консолидированной коре Закарпатья. Этот слой, располагающийся в основании коры непосредственно над поверхностью Мохоровичича имеет пластовую скорость около 6,4 км/сек. Значения скоростей в нем слишком малы для пород основного состава и

соответствуют скоростям кислых пород [10].

Геотермичнеская обстанока в регионе. Тепловое поле литосферы определяется ее энергетическим балансом и условиями переноса тепла. Энергетический баланс формируется за счет ее внутренних источников тепла и тепла, поступающего из недр Земли к нижней границе литосферы. Главный источник тепловой энергии внутри литосферы — распад радиоактивных долгоживущих элементов, сосредоточенных в основном в верхней части земной коры - в осадочном и гранитном слоях. На закономерности теплового режима литосферы, накладываются так же региональные и локальные возмущения, связанные как с особенностями теплопереноса и распределения источников тепла разной природы, так и с условиями геотермических изменений в конкретном регионе. Все эти факторы в Карпатском регионе проявляются достаточно существенно [9,11-13]. Построения температурного поля Закарпатского прогиба базировались на результатах измерений в глубоких скважинах (Рис.2).



А Б

Рис.2. Схемы расположения сейсмического профиля (РП-17) [10] и тепловые потоки [11-13] в Закарпатском прогибе: А – ЧМВ - Чоп-Мукачевская впадина, ВГВЗ - Выгорлат Гутинская вулканическая зона, СВ – Солотвинская впадина, ППА – Припаннонский разлом, СВЛ – Средневенгерская тектоническая. Б - 1-сейсмический профиль, 2-границы зон, 3 - изолинии тепловых потоков, 4 – разломы. I –Чоп-Мукачевская впадина, II –Солотвинская впадина, III – Выгорлат-Гутинский вулканический хребет, IV-флишевые Карпаты, V-Береговская зона горстовых поднятий.

Была выделена стационарная составляющая поля, создаваемого глобальным фоновым тепловым потоком в неоднородной литосфере, и нестационарные аномалии, обусловленные геодинамическими процессами и распределением в ней радиогенных источников тепла. Модель структуры коры строилась на основе геолого-геофизических

данных [9,11-13]. Фоновый уровень теплового потока составляет 90мВт/м2 (Рис.2). Во впадинах Закарпатского прогиба и других депрессиях внутрикарпатской области тепловые потоки увеличиваются от 90 до 130мВт/м2. Значения, превышающие 100мВт/м2, образуют относительно ограниченные аномалии, которые протягиваются вдоль центральной части Закарпатского прогиба (Рис.2).

Анализируя тепловые потоки для Закарпатского прогиба, были предложены модели распределения температур с глубиной района [11-13]. Температурные режимы очень неоднородные как по площади, так и по глубине: 10км – 180-300єС, 20 – 300-470, 30 – 450-650, на М - 600-800 єС.

Петрофизическое термобарическое моделирование. Впервые разработаны детальные модели распределения типов пород с глубиной и уточнены особенности структуры земной коры Закарпатского прогиба вдоль профилей РП-17. Моделирование может объяснить физическую природу некоторых локальных аномалий скорости вдоль профиля [1-5,10]. Для этой цели наиболее эффективным является разработанный нами метод петрофизического термобарического моделирования (ПТБМ) распределения вещества кристаллической литосферы. Основан он на сравнении экспериментальных данных скоростных параметров пород при высоких давлениях и температурах с материалами глубинных сейсмических разрезов [1-4,14]. Правомочность сопоставления геофизических наблюдений с данными лабораторных исследований физических параметров пород подтверждена соответствующими критериями подобия [1,4].

Предварительное изучение пород из некоторых скважин Карпатского региона позволило подобрать коллекцию аналогичных горных пород из обнажений УЩ (подобной тектоники, генетически связанных). Были отобраны сланцы, кварциты, метаконгломераты, милониты, гранито - гнейсы, диориты, габброиды и базальты из шовных зон УЩ, а также его западного склона и Запорожской СГ-8, упругие характеристики которых подробно изучались при программировании РТ условиях [4,5,14]. При подборе образцов пород принимались во внимание рекомендации работы [10]. Результаты этих исследований в термобарических условиях опытов использованы для ПТБМ Закарпатского прогиба после внесения соответствующих изменений температур и температурных поправок к коррекции скорости пород, используемых при моделировании (Рис.3).

В своих многочисленных работах мы подчеркиваем высокую зависимость зон разуплотнения пород от интенсивности разогрева минерального вещества, как в естественных, так и лабораторных условиях опытов. Породы, изученные в низкотемпературных программных РТ условиях при высоком давлении, имеют более высокие скорости и плотности [1-5].

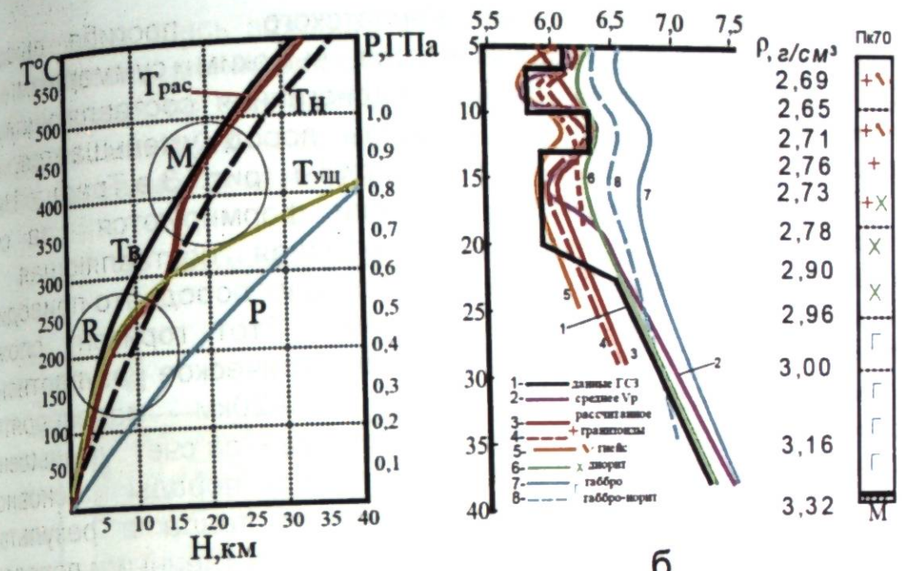


Рис.3 а - Распределение температур в коре Украинского щита (ТУЩ), Закарпатского прогиба (Тв) и (Тн) верхние и нижние приделы. Трас – расчетная температура для ЗНС; Р – давления с глубиной ; М – область в земной коре, где преобладает мантийный ТП; R – область в земной коре, где преобладает ТП радиоактивного распада. б – Сравнение экспериментальных значений = f (H) для различных пород и данных ГСЗ и модель их распределения с глубинной. 1 – Vp на профиле РП-17, пикет-75; 2 – Vp = f (PTрас) для гранитов; 3 – гнейсов; 4 –гранодиоритов; 5 – диоритов; 6 – габброноритов; 7 – среднее модельное значение Vp =f; столбец цифр ρ= f (H) для пикета-75.

В РТ-условиях, характерных глубинам 10 – 25км, перегрев пород на 40 - 80°С от среднего уменьшает их скорости и плотности на 2,5 – 4%. Учитывая это были внесены соответствующие изменения в модельное распределение Т с глубиной и внесены температурные поправки в экспериментальные данные для Vp = f (PT) = f (H) с использованием информации об их изобарах и изотермах, а далее проведены необходимые сопоставления (Рис.3).

В Закарпатском прогибе вдоль профиля РП-17 верхняя ЗНС-1 была обусловлена увеличением температуры относительно средней температуры коры (например в отличии от УЩ) за счет радиогенной генерации тепла присутствующих здесь глин, алевролитов, песчаников гранито-гнейсов (коэффициенты радиогенного тепловыделения которых достигает 2.0-2.5 мкВт/м^3) и некоторым вкладом мантийного тепла [11-13] (для примера рассмотрим участок профиля в районе пикета -75). ЗНС-1 расположена, в основном, среди интенсивно деформированных гранито-гнейсов смешанных с осадочными породами и сланцами. Здесь температура меняется от 100 до 260°С, следовательно она имеет термобарическую природу [1-5] и сложена в основном породами, которые подвержены деструктивным внешним воздействиям.

Как отмечалось выше, на распределение температуры с глубиной существенно влияет мантийный тепловой поток (ТП), радиогенные источники тепла земной коры и теплопроводность среды [11-13]. В

верхних горизонтах земной коры Карпатского прогиба высокая температура (рис.3а,Тв) поддерживается высоким суммарным ТП. Однако по мере увеличения глубины радиогенная составляющая ТП уменьшается [11-13], и теплопроводность пород уменьшается, что приводит к снижению градиента температуры (рис. 3.а,Трас). Ниже ЗНС-1 температуры невысокие, т.к. они формируются за счет радиогенных источников тепла, а мантийная составляющая ТП ограничена физическим состоянием нижележащих пород, что приводит к образованию слоя с высокими скоростями. Этот горизонт сложен породами среднего состава (Рис.3.б). Термобарическое разуплотнение минерального вещества на глубинах 10-20км маловероятно. Наблюдается нарушение температурного режима – за счет уменьшения радиогенной генерации, (поскольку появляются породы основного состава) и уменьшением влияния мантийного тепла в результате экранирующего действия ЗНС-2, сложенной разуплотненными породами пониженной теплопроводности [1,2,5,11-13].

На глубине H=18-26км термобарические режимы обусловили новую зону - ЗНС-2. Эта зона расположена в породах среднего и основного составов в поле высокотемпературных потоков флюидов и тепловой энергией мантии термобарической природы. Постоянный приток тепла из мантии нагревает породы на глубинах 18-26 км до 600°С (рис. 3). Здесь возможны диориты, габброиды, базальтоиды и другие продукты вулканической деятельности. Некоторое увеличение Т в зоне так же объясняется тем, что ЗНС-2 сверху перекрывается породами низкой теплопроводности ЗНС-1 и подстилающими ее породами среднего состава с невысокой теплопроводностью, слабой радиогенностью. Все это уменьшает отток мантийного теплового потока из ЗНС-2, и ведет к перегреву пород этой зоны и обеспечивает их разуплотнение[1,2,5,]. Аналогичным образом была разработана петрофизическая термобарическая модель вдоль всего профиля РП-17, которая представлена на (рис. 4). Зона ЗНС-1 расположена вдоль всего профиля. Она имеет две объемные области – первая в районе Выгорлат-Гутинского хребта, очевидно связанная с интенсивным притоком мантийного тепла вдоль разлома - вторая объемная область, расположенная между пикетами 90-120км в результате слияния двух зон – верхнекоровой и глубинной зоны ЗНС-2.

Кроме того, авторы сейсмического профиля РП-17 (Чекунов,1969 ст.62), полагают, что в Чоп-Мукачевской впадине (несколько меньше в Солотвинской), широко был развит вулканизм, приведший к накоплению весьма мощных плиоценовых вулканогенных образований в низах коры, характеризующихся более низкими параметрами упругости. Дополнительное разуплотнение минерального вещества зоны перехода от пород промежуточного среднего состава к базифицированными образованиями выше границы М и снижения скорости, связано с

проявлением здесь эффекта дилатанционного разуплотнения [15], за счет действия меняющихся по интенсивности сдвиговых напряжений направленных по оси вдоль Закарпатской впадины [8-10] и активного движения мантийных флюидов в результате приподнято и сильно дислоцированной границе М.

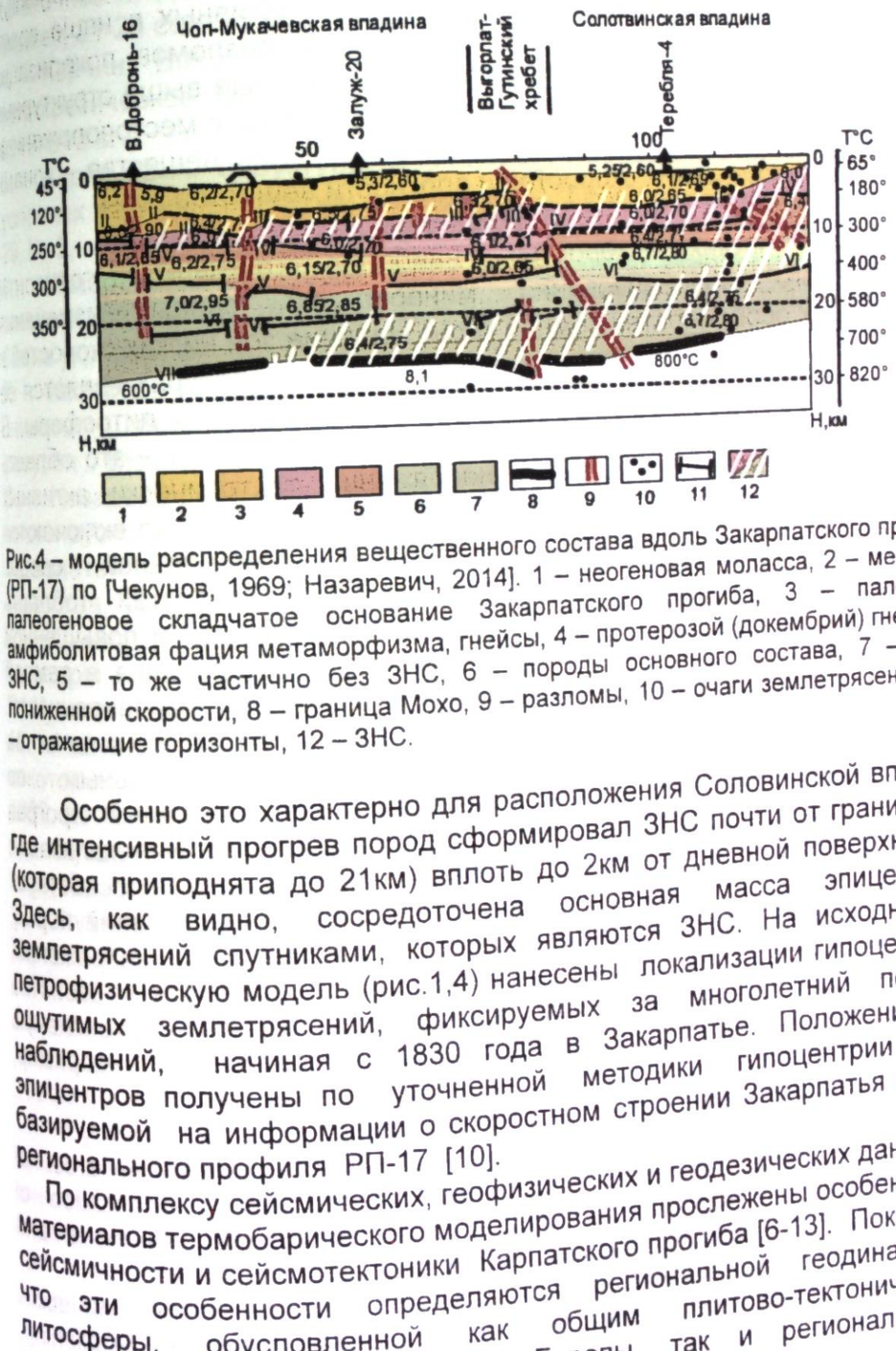


Рис.4 – модель распределения вещественного состава вдоль Закарпатского прогиба (РП-17) по [Чекунов, 1969; Назаревич, 2014]. 1 – неогеновая моласса, 2 – мезозой-палеогеновое складчатое основание Закарпатского прогиба, 3 – палеозой, амфиболитовая фация метаморфизма, гнейсы, 4 – протерозой (докембрий) гнейсы с ЗНС, 5 – то же частично без ЗНС, 6 – породы основного состава, 7 – слой пониженной скорости, 8 – граница Мохо, 9 – разломы, 10 – очаги землетрясений, 11 – отражающие горизонты, 12 – ЗНС.

Особенно это характерно для расположения Соловинской впадин, где интенсивный прогрев пород сформировал ЗНС почти от границы М (которая приподнята до 21км) вплоть до 2км от дневной поверхности. Здесь, как видно, сосредоточена основная масса эпицентров землетрясений спутниками, которых являются ЗНС. На исходную и петрофизическую модель (рис.1,4) нанесены локализации гипоцентров ощутимых землетрясений, фиксируемых за многолетний период наблюдений, начиная с 1830 года в Закарпатье. Положения их эпицентров получены по уточненной методики гипоцентрии [6-9], базируемой на информации о скоростном строении Закарпатья вдоль регионального профиля РП-17 [10].

По комплексу сейсмических, геофизических и геодезических данных и материалов термобарического моделирования прослежены особенности сейсмичности и сейсмотектоники Карпатского прогиба [6-13]. Показано, что эти особенности определяются региональной геодинамикой литосферы, обусловленной как общим плитово-тектоническим процессом в Альпийском поясе Европы, так и региональными

геологическими и геотермическими особенностями. Здесь присутствует сжатие геологических структур в крест Карпатской горной дуги с локальными зонами растяжения, сопровождающееся, соответственно, вздыманием и опусканием земной поверхности. Пространственная форма макросейсмических полей землетрясений этого района определенным образом отражает сложную тектоно-геодинамическую обстановку, а также особенности строения активных в наше время тектонических структур, разрывных нарушений, разломов, локализации сейсмических эпицентров. Почти все перечисленные выше структурные нарушения и аномалии земной коры тесно связаны с местоположением термобарических зон разуплотнения минерального вещества - зонами инверсий сейсмических скоростей и плотности вещества коры.

Заключение

Зоны низких скоростей наиболее активные горизонты современного преобразования минеральной среды, изменения структурных особенностей земной коры. Наличие зон низких скоростей в земной коре при определенных давлениях и температурах является ее неотъемлемой частью, стабилизирующей устойчивость литосферы. В силу ослабленных здесь характеристик упругости пород – это область релаксации интенсивных полей напряжений тектонически активных процессов. Здесь, на определенных глубинах коры активно включаются механизмы дилатанционного разрушения минеральной среды. Термобарические зоны низких сейсмических скоростей (область пониженных параметров упругости пород, их плотности и повышенной пористости) являются спусковым механизмом образования в земной коре очагов землетрясений и разломов различной направленности. Подтверждением этому служит наличие в ЗНС наибольшего количества очагов коровых землетрясений, что оказалось очень актуальным по Закарпатскому прогибу (рис.1,4). Полагаем, что активный прогрев земных недр, как результат мантийных катаклизмов и локализации радиоактивных элементов, в обязательном порядке способствует появлению ЗНС - горизонтов термобарических разуплотнений пород, которые под воздействием миграции флюидов, напряжений, разнонаправленных деформаций и вибраций приобретают свойства сильно дислоцированных сред, провоцирующие интенсивную релаксацию тектонических напряжений в виде, например, землетрясений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Korchin V. Anomalies of low density in the crystalline crust of thermobaric origin: a new insight into migration and localization of hydrocarbons. Monograph 72: Oil and Gas Exploration: Methods and Application. American Geophysical Union, Wiley, 2017, pp. 237-257.
2. Корчин В.А. Термодинамика коровых зон низких сейсмических скоростей (новая научная гипотеза). LAP Lambert Academic Publishing, 2013, 280 с.
3. Корчин В.А. Коровые зоны низких скоростей – области современной релаксации сейсмотектонических процессов. Материалы первого международного симпозиума. «Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений: измерение деформаций, остаточных и действующих напряжений в горных породах» Киргизия, Бишкек, 21-23 сентября 2016. Бишкек: НАН КР, 2016. С. 121-130.
4. Корчин В.А., Буртный П.А., Коболев В.П. Термобарическое петрофизическое моделирование в геофизике. Киев: Наукова думка, 2013. 312 с.
5. Корчин В.А. Структурные особенности минеральной среды в *PT*-условиях различных глубин земной коры. Геофизический журнал, 2007, 29, № 3, с. 49-77.
6. Назаревич Л.Е., Назаревич А.В. Методики уточнения параметров гипоцентров Карпатских землетрясений .Геодинамика. 2004. 1 (4). С. 53-62 (на укр. языке).
7. Назаревич А.В., Назаревич Л.Ө., Ковалишин З.І. Природа підзони знижених швидкостей у «гранітах» кори Закарпаття та ҮҮ перспективні ресурси // Вісник Львів. ун-ту. Сер. геол. 2002. Вип. 15. С. 119-125.
8. Назаревич Л.Е., Назаревич А.В., Стародуб Г.Р., Назаревич Р.А. О многоярусности сейсмотектонического процесса в Украинском Закарпатье и его связи со структурой коры региона и свойствами ее вещества. Современная тектонофизика. М.: ИФЗ. 2011. С. 179-186.
9. Сучасна геодинаміка та геофізичні поля Карпат і суміжних територій: монографія / за заг. ред. К.Р.Третяка, В.Ю.Максимчука, Р.І.Кутаса. Львів: Видавництво Львівськоү політехніки, 2015 ,420с.
10. Чекунов А.В., Ливанова Л.П., Гейко В.С. Глубинное строение и некоторые особенности тектоники Закарпатскогопрогиба. Сов. геология. 1969. № 10. С. 57-68.
11. Кутас Р.И. Тепловой поток и геотермические модели земной коры Украинских Карпат. Геофизический журнал № 6, Т. 36, 2014,с.3-27
12. Кутас Р.И. Геотермические условия и мезо-кайнозойская эволюция Карпато-Паннонского региона. Геофизический журнал № 5, Т. 38, 2016. С.75-107.
13. Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Завгородняя О.В., Ковачикова С., Логвинов И.М., Тарасов В.Н., Усенко О.В. Украинские Карпаты (геофизика, глубинные процессы). Киев: Логос. 2011. 128 с.
14. Буртный П.А., Корчин В.А., Карнаухова Е.Е. Моделирование вещественного состава глубинных горизонтов земной коры (новая концепция интерпретации геофизических данных). LAP Lambert Akademic Publishing, 2013. 188 с.
15. Гольдин С.В. Дилатансия, переупаковка и землетрясения. Физика Земли, 2004, № 10, с. 37-54

слабонарушенных пород, вызывающих разрушения в динамической форме. Использование геофизических исследований в варианте сейсмопросвечивания позволяет получить сейсмотомографическую схему массива с определением удароопасных зон.

Таким образом, получение параметров естественного поля напряжений и их вариации, а также прочностных характеристик массива пород на момент начала подземных горных работ и на период эксплуатации залежей является важной задачей геомеханики.

1. Вариации напряжений в земной коре космического генезиса и периодического характера.

Предполагаемое постоянство напряжений в недрах было подвержено сомнению с началом их натурного определения. Неоднократные попытки проследить изменение напряжений с помощью фотоупругих датчиков, установленных в выработках различного назначения, неоднократно варварски прерывались через 1-2 года. И только в 1998 г., когда после семилетнего периодического замера напряжений в штольнях, где горные работы не велись, удалось зафиксировать изменение нагрузок нетронутого массива на 8 МПа [5]. Затем, расширяя фронт исследований, были оборудованы реперные линии длиной 40-50 м на рудниках в городах: Краснотурьинске, Н.-Тагиле, Березовском, Кушве и Гае. Глубина заложения наблюдательных станций от 400 до 1000 м. За 25 лет геодеформационного мониторинга выявлено, что дополнительно к постоянным горизонтальным напряжениям в земной коре варьируют нагрузки от 0 до 10÷20 МПа за период около 11 лет. Выяснено также, что такой период флуктуации имеют солнечная активность пятнообразования (W – в числах Вольфа), солнечная постоянная (S_0вт/м^2) и интенсивность космического излучения (n (t) в %). Вероятнее всего, последний фактор является определяющим, поскольку синхронно с деформациями Земли до $(2\text{-}4)\cdot10^{-4}$ происходит деформация Солнца с изменением его радиуса от 250 до 750 км [3].

В работах на эту тему данные нагрузки фигурируют как пульсирующие тектонические, затем как астрофизические, в данной статье они названы космогенными.

Многолетним геодеформационным мониторингом выявлены и другие, менее продолжительные циклы вариаций с меньшей амплитудой нагрузок, которые на современном этапе геотехнологий учитывать пока не представляется возможным [3].

Рассматривая увеличение нагрузок в массиве пород следует учитывать сроки их формирования. Так основной рост космогенных напряжений происходит во второй половине цикла в течение 4-5 лет до его окончания, возможно, с отставанием на 1-2 года. В указанный период отмечаются как интенсивность динамических явлений на рудниках, так и катастрофические явления во всей сфере выработок

(Саяно-Шушенская ГЭС, 2009 г.), затопление соляных рудников Прикамья и Канады (1975, 1986, 1995, 2006 гг.) (рис.1) [6].

Особо следует подчеркнуть, что указанные периодические нагрузки космического характера, являясь частью первоначального (природного) напряженного состояния, при техногенном воздействии на массив концентрируются вокруг выработок ($К_в$= 2-3) и выработанных пространств ($К_{вр}$ = 2,5-3). Таким образом, нагрузки на обнажении пород возрастают за счет космогенных напряжений и в совокупности с литостатическими напряжениями от веса пород приводят в скальных породах к динамическим явлениям.

На повышение общего напряженного состояния в первую очередь реагируют массивы пород пониженной прочности, такие как солесодержащие. Это ярко прослеживается при затоплении рудников Прикамья и Канады [7].

Следовательно, в современных условиях оценка дополнительных природных напряжений для расчетов и установления граничных условий при моделировании может быть проведена следующим образом [7] :

$$\sigma^{П}_{х,у(2020)} = \sigma^{П}_{х,у(2015)} - \sigma_{к(2015)} + \sigma_{к(2020)}, \qquad (1)$$

где 2015 - 2020 – годы, когда на конкретном месторождении проведен замер напряжений и время их действия в массиве в период планируемого ведения горных работ.

С учетом проведенных исследований, вероятными периодами действия максимальных нагрузок следует считать 2020-2021 и 2029-2031 гг. [3].

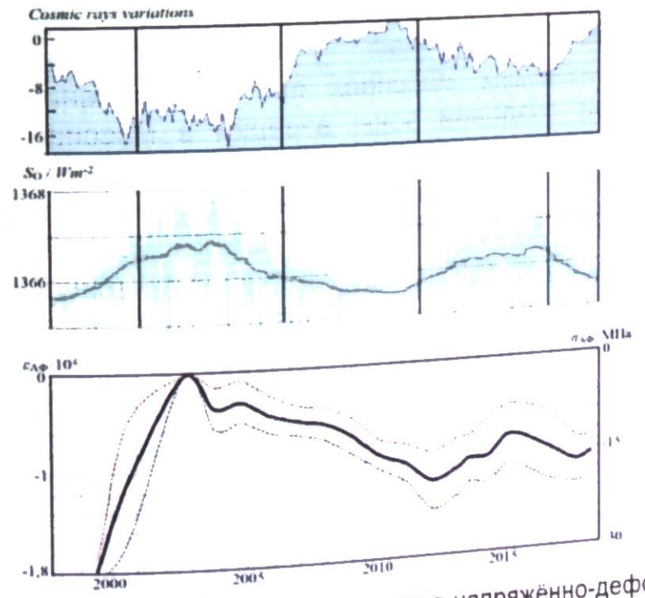


Рис 1 – Изменение средних значений параметров напряжённо-деформированного состояния массива горных пород ($\sigma_{АФ}$ и $\varepsilon_{АФ}$) на Урале на фоне изменения излучающей способности Солнца So[8] и интенсивности космического излучения[9] (Абаза, Нижний Тагил, Берёзовский, Гай, Краснотуринск, Нижний Тагил).

2 Дополнительные напряжения в массивах пород с взаимосвязанной закарстованностью при создании зоны аэрации.

История борьбы с горными ударами в нашей стране ведет начало с 1942 г. в Кизеловском бассейне. Удары происходили в горных выработках по песчаникам и в целиках угля. При глубине 150-300 м причиной считалась аномально высокое поле напряжений.

С 1970г. удары отмечаются на СУБРе, где они стали повседневной реальностью с максимальной интенсивностью на глубинах 350-470 м. С 1970 г. за 30 лет число разрушающих горных ударов достигло 350, из них 17 – удары горно-тектонического типа [10].

В 1986 г. произошло затопление БКРУ-3 в Прикамье, в 1995 г. отмечено землетрясение на СКРУ-2 с обрушением на глубину 4,5 м массива до поверхности на площади 950х750 м с последующим затоплением в конце 2014 г., а в 2006 г. затоплен БКРУ-1 [6].Не останавливаясь на датах, совпадающих с приведенным выше максимумом сжатия земли в периоды минимума солнечной активности, следует указать на общий осадочный генезис месторождений, невысокую прочность пород и углей, особенно солей, с их вязкоупругопластичным характером деформирования и наличием массивов с взаимосвязанной закарстованностью.

Водообильность вмещающих (СУБР, Кизел) и налегающих (ВКМКС) пород довольно высока. Так, на СУБРе объем откачки воды в среднем составляет 15000 м^3/час, на ВКМКС из водоносных горизонтов ежесуточно забирается 200 тыс.м^3 воды (8300 м^3/час), в Кизеле водоприток составлял 2500 м^3/час.

В рассматриваемых массивах при их осушении для ведения горных работ при создании зоны аэрации в массиве пород внутри депрессионной воронки вода замещается воздухом. При этом осушенный массив начинает испытывать гидростатическое горизонтальное давление, величину которого совместно с боковым распором (по А.Н.Диннику) можно оценить из выражения[11].

$$\sigma_{гор} = H\gamma_п\left(\frac{\mu}{1-\mu}+\frac{\gamma_в}{\gamma_п}\right); \qquad (2)$$

где: $\gamma_п$ и $\gamma_в$ –удельный вес породы и воды, МН/м^3;

μ –коэффициент Пуассон;

Н – глубина рассматриваемого участка от поверхности.

Из (2) видно, что в обводненных условиях боковой распор массива возрастает в 1,7 раза. Следовательно, эти нагрузки, концентрируясь около выработок и выработанных пространств, слагаясь с нагрузками от веса пород, тектоники вызовут их удароопасность.

Таким образом, водонасыщенность массива горных пород при ведении горных работ следует оценивать как с точки зрения затопления, так и удароопасности.

3 Уточнение параметров физико-механических свойств горных пород

При проведении геомеханических исследований обычно определяются прочностные и упругие параметры горных пород. Принято считать, что если первоначальное напряженное состояние массива пород по мере углубления работ растет по законам литостатистики, тектоники, то физико-механические свойства пород нижних горизонтов могут оставаться на значительных интервалах глубин практически постоянными.

Нами предпринята попытка уточнить эти параметры некоторых пород. Для этого на нижних горизонтах ш.Северопесчанская были отобраны штуфы, с соблюдением правил отбора. Из них изготовили и подвергли испытаниям с соблюдением действующих ГОСТов образцы скарнов и диоритов. Испытания проведены специализированной организацией.

Сравнительные данные вновь выполненных испытаний основных свойств с ранее полученными данными приводятся в таблице.

Таблица – Сравнительные данные физико-механических свойств пород месторождения

	ООО «ГинГЕО»				ИГД УрО РАН				F по Прот. (БРУ)
	Прочность, МПа		Упругость		Прочность, МПа		Упругость		
	Сж.	Раст.	Е, ГПа	μ	сжатие	растяж.	Е, ГПа	μ	
1.Скарн	73,2	13,8	85,1	0,19	45-130	3	34-150	0,26	7-15
2.Скарн	89,7	15,2	88,3	0,19	45-130	3	34-150	0,25	7-15
3.Диабаз (диорит)	89,4	13,3	40,6	0,16	75-100	6	80-105	0,23	10-15
4.Диабаз (диорит)	80,3	10,6	46,5	0,16	75-100	6	80-105	0,23	10-15

Согласно действующему ГОСТ 21153-84 рассматриваемые породы относятся к скальным, прочным, неразмягчаемым грунтам. При значительной величине нагрузок наблюдается линейное, упругое деформирование пород, коэффициент хрупкости ($\sigma_{сж}/\sigma_{раст}$) около 6, что подтверждает их отнесение к удароопасным.

Характеристики упругости пород, особенно скарнов, находятся примерно на одном уровне с ранее рассматриваемыми и обе разновидности относятся к категориям прочных. Прочностные параметры пород в основном совпадают, просматривается разброс в данных ИГД УрО РАН, хотя принимаемая прочность пород по М.М.Протодьяконову в ОАО «Богословское рудоуправление» практически совпадает с полученной.

В настоящее время, согласно действующему ГОСТу-21153-84, многие геомеханические расчеты базируются на параметрах прочности пород при одноосном сжатии, в то время как в натурных условиях

горные конструкции при их массивном строении работают в условиях двух- и трехосных нагрузок, при которых материал конструкций способен выдерживать более высокие напряжения.

Практика исследований показала, что при прессовых испытаниях требование параллельности плит пресса и образца не более 0,01 мм вызывает неравномерность нагрузки в образце и его преждевременные разрушения. С другой стороны, шахтные наблюдения подтвердили, что обнажение пород на контуре выработок способны нести нагрузку, превышающую значения, полученные при одноосном прессовом нагружении. Следовательно, существующие требования «утяжеляют» горные конструкции.

При оценке устойчивости несущих элементов горных конструкций, т.е. на их обнажениях, необходимо использовать приведенную прочность:

$$[\sigma]_{сж.пр} = [\sigma]^0_{сж} \cdot К_о \cdot К_{ПВ},$$

где: $[\sigma]^0_{сж}$ –прочность призматических образцов при сжатии согласно ГОСТ 21153.2-84, допускающий неровность поверхности образца 0,01 мм;

$К_о$ = 1,25 – средний повышающий коэффициент, исключающий влияние неровностей плит пресса;

$К_{ПВ}$ = 1,4 – средний повышающий коэффициент при переходе от образца, где $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$ и $\sigma_3 = [\sigma]^0_{сж}$, к плоскости обнажения, где $\sigma_1 = 0$, $\sigma_2 \neq \sigma_3 \neq \sigma_{сж.пр}$. Он подобен коэффициенту формы при переходе от прочности столбчатого целика к ленточному.

Это позволит обеспечить безопасность и эффективность горных работ без чрезмерного «утяжеления» горных конструкций.

В практике горных работ способность пород в объемном напряженном состоянии выдерживать большую нагрузку чем при одноосном испытании, следует использовать шире. Например, нами была предложена для удароопасных массивов выработка 4-х-угольного сечения со щелями в углах [12], где максимальная нагрузка действует в условиях объемного сжатия. Такая выработка испытана на шахте «Северопесчанская» на глубине 700 м при сооружении руддвора, где она пройдена между стволами и выдержала несколько циклов возрастания нагрузок. Выработка такого сечения защищена от динамического разрушения («пучения») почвы сооружения, что часто наблюдается при удароопасности, например, на Таштаголе [13]. Зарубежными исследованиями также показано, что прочность пород при сжатии в случае бокового подпора повышается на порядок от его величины.

Выводы

С учетом закономерностей формирования естественного напряженного состояния массивов горных пород удароопасных месторождений в расчетном геомеханическом прогнозе и предупреждении горных ударов на стадии проекта и строительства рудников следует учесть следующие обстоятельства.

1. Поле упругих напряжений массива скальных пород и, возможно, Земной коры, имеет нелинейный характер, состоит из постоянных компонент (гравитация и тектоника) и переменных, обусловленных космическими факторами и имеющих циклический характер с периодом около 11 лет. Действующие рудники со сроком эксплуатации в несколько десятков лет, возможно, подвергнутся дополнительным нагрузкам, ориентировочно, в 2020-2021 и 2029-2031 гг.

2. Массив горных пород с высокой водообильностью и взаимосвязанной закарстованностью, преимущественно осадочного генезиса, с началом горных работ, откачкой воды и созданием зоны аэрации в виде депрессионной воронки нагружается дополнительно к нагрузкам от веса пород, тектоники и космогенеза гидростатическими напряжениями, величина которых растет с глубиной. Суммарные нагрузки, концентрируясь около выработок, вызывают их удароопасность.

3. На современном этапе развития геомеханики необходимо привести в соответствие прочностные и упругие параметры пород, полученные при лабораторных испытаниях с их реальными значениями в недрах. Предложенные коэффициенты, возможно, требуют корректировки и дальнейшего уточнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зубков А.В. Напряженное состояние верхней части земной коры Урала / А.В. Зубков, Я.И Липин // Доклады РАН. - 1997. - Т-356. - С 792-793.
2. Закономерности формирования напряженно-деформированного состояния земной коры Урала во времени / А.В. Зубков, О.В. Зотеев, О.Ю. Смирнов, Я.И. Липин, С.В. Худяков, Р.В. Криницын, К.В. Селин, А.А. Ершов, Л.Р. Валиулов // Литосфера. – 2010. - № 1. - С. 84-93.
3. Зубков А.В. Закономерности формирования напряженного состояния массива горных пород в верхней части земной коры / А.В. Зубков, К.В. Селин, С.В. Сентябов // Литосфера. - 2015. - № 6. – С. 166-129.
4. Зубков А.В. Геомеханика и геотехнология / А.В. Зубков // Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2001 - 335 с.

5. Зубков А.В. Напряженное состояние земной коры Урала / А. В. Зубков // Литосфера. - 2002. - № 3 – С. 3-18.
6. Липин Я.И. Причины аварий на рудниках ВКМКС и меры по их предупреждению / Я. И. Липин // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск № 11 Проблемы недропользования. - М.: Из-во «Горная книга». - 2011. - № ОВ 11. – С. 139-146 с.
7. Патент № 2540694 Рос. Федерация. Способ определения природных напряжений в массиве горных пород / Бирючев И.В., Зубков А.В., Криницын Р.В., Липин Я.И., Сентябов С.В.; заявлено 23.07.2013; опубл. 10.02.2015, Бюл. № 4.
8. Сайт PMODWRC [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://www.pmodwrc.ch/forschung-entwicklung/solarphysik/tsi-composite
9. Сайт Московской обсерватории [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://cr0.izmiran.ru/mosc
10. Селивоник В. Г. Опыт отработки удароопасных бокситовых месторождений Северного Урала / В. Г. Селивоник, К. А. Воинов // Горный журнал. – 2004. - № 3. – С. 18 – 24.
11. Липин Я.И. Геомеханические проблемы освоения месторождений минеральных ресурсов в массивах с взаимосвязанной закарстованностью / Я. И. Липин // Материалы 7 Межд. Симпозиума. – Белгород: ВИОГЕМ, 2003. - С. 175-181.
12. Патент 806678 Россия. Способ проходки буровзрывным методом горной выработки четырехугольного сечения в массиве горных пород, опасным по динамическим явлениям / Зубков А.В., Липин Я.И. Шуплецов Ю.П.; заявлено 24.05.79; опубл. 23.02.1981, Бюл. № 7.
13. Еременко А.А. Диагностика геофизических предвестников геодинамических явлений и развитие технологии разработки железорудных месторождений / А.А.Еременко, А.А. Беспелько, В.А.Еременко, Л.В. Яворович. – Новосибирск: Наука, 2016. - 296 с.

УДК 550.3+551.24.03

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ТЕКТОДИНАМИКИ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ДАННЫМ ПОЛЕВЫХ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Р.А.Умурзаков
Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан

В статье приводится анализ состояния изучения и описания динамики горных массивов с различных точек зрения и подходов. Отмечена необходимость разработки единого подхода. Приводится обоснование возможности использования термина «тектодинамика» и методики изучения «современной тектодинамики» массивов горных пород, в том числе и очаговых областей землетрясений с реконструкцией полей напряжений и деформаций по данным полевых тектонофизических наблюдений. Приводится описание результатов на примере отдельных районов.

Ключевые слова: массив горных пород, структура, деформация, напряжение, геодинамика, тектодинамика, землетрясение, механизм очага

METHOD AND RESULTS OF STUDYING OF THE MODERN TECTODYNAMIC OF THE ROCK MASS ON THE BASIS OF TECTONOPHYSICAL OBSERVATIONS

R.A.Umurzakov
Tashkent state technical university, Republic of Uzbekistan

The analysis of a condition of studying and the description of dynamics of the massif from various points of view and approaches is provided in article. Need of development of uniform approach is noted. Justification of a possibility of use of the term "tectodynamics" and a technique of studying of "a modern tectodynamics" of rock mass of including focal areas of earthquakes with reconstruction of fields of tension and deformations according to field tectonophysical observations is given. The description of results on the example of certain areas is provided.

Keywords: a file of rocks, frame, deformation, stress, geodynamics, tectodynamics, earthquake, the locus mechanism

Введение

Изучение динамики массивов горных пород, и в особенности - распределения напряжённого состояния горного массива - является одной из задач по обеспечению безопасного ведения работ на месторождениях в горных массивах [1,2]. Это необходимо, прежде всего, для предотвращения чрезмерных концентраций давлений на отдельных участках, уменьшения его влияния в местах ведения работ. При этом, признается, что «наиболее полно это требование может быть удовлетворено, если известно напряженно-деформированное состояние горного массива до начала работ [1]. Решение этих задач предлагают осуществлять на основе «геодинамического районирования» при изучении свойств раздробленности и динамики массивов горных пород [1,2]. К сожалению использованная в работе методика не должным образом отвечает «геодинамическому районированию». Анализ состояния этого вопроса в применении к горному делу показывает о необходимости внедрения в эту область новых разработок. Проблема изучения напряжённого состояния в массивах горных пород интересует исследователей разных профилей– и геологов, и сейсмогеологов, и инженеров геологов, и горных инженеров, и нефтяников-разработчиков. Этот перечень можно продолжить. Проблема эта многогранная, сложная и имеет различные аспекты приложения. Чаще всего встречаются попытки назвать эти приложения «геодинамикой» некоторого участка. Исследователи используют разнообразную терминологию при описании результатов: «геодинамика», «геомеханика», «динамика массивов», «горная геодинамика», «инженерная геодинамика», «сейсмодинамика», «сейсмогеодинамика» и др. Очевидно, что назрела необходимость разработки единого научного подхода, который мог бы объединить и все проблемные вопросы, и все их решения.

Следует отметить, что при всём многообразии подходов к изучению горных массивов общим остаётся то, что горный массив – это геологическая среда, и к его изучению надо подходить с точки зрения геолога - со знанием закономерностей геологических процессов, её устройства, влияющих факторов, с учётом иерархических свойств и т.д. Но использовать термин «геодинамика» для описания таких небольших участков земной коры, как массивы горных пород, автор считает, в лучшем случае, некорректным. Обоснование этого связано с предназначением этого термина. Остановимся на этом чуть подробнее.

Некоторые исследователи, особенно приверженцы плитной тектоники, продолжают считать «геодинамический подход» детищем «глобальной тектоники». Хотя появление и первое использование термина «геодинамика» было связано с именем итальянского астронома Дж. Скиннарелли в лекциях, прочитанных им в Петербургской академии наук в 1859 г. [3]. Несколько позже появилась монография английского геофизика А. Лява (1911) «Некоторые проблемы геодинамики», где были

описаны различные гипотезы о механических свойствах Земли, а также такие явления, как приливные деформации Земли (как планеты), ее собственные колебания. Смысловое значение термина и особенности его использования при описаниях различных геосфер Земли довольно ёмко были показаны в «Геологическом словаре», изданном в 1978 году [т.1., с.143]. Использование термина «геодинамика» в ином контексте, чем применительно к глобальным земным процессам, по меньшей мере, приводит к путанице. Нужно ли привнесение в этот термин новых «свойств и качеств», связанных с небольшими участками земной коры? Другое дело, когда с получением новых данных и развитием науки возникает необходимость дополнений в известные понятия. В конце XX и начале нового столетия *понятие геодинамики* значительно расширилось и её стали рассматривать *как науку о процессах, происходящих в системе Земля и проявляющихся в силовых и энергетических полях, действующих в любой части этой системы и в любом процессе*. Имеются также и другие определения геодинамики - *как особого общенаучного подхода к изучению различных объектов в системе Земля, базирующихся на знаниях и методах разных наук (геологических, геохимических, геофизических, географических, астрономо-геодезических и др.)* [4]. Таким образом, исходя из вышеизложенного видно, что при детальных исследованиях в массивах горных пород внутриматериковых районов лучше использовать другую терминологию. Для таких целей наиболее приемлемым оказывается термин «тектодинамика», предложенный в сороковые годы прошлого столетия Г.П.Горшковым для формулирования направления по изучению тектонических напряжений. Тогда же была попытка выделения А.В.Пэком (1939) специальных подразделений – «динамической тектоники» и «кинетической тектоники». В последующем термин приобрел более широкий смысл – отображая исследования тектонических полей напряжений, деформаций и движений (тектодинамических систем) разных рангов, действующих в разных по масштабу объёмах отдельных внутриконтинентальных районов и участков массивов горных пород [5].

Исходя из этого, «современная тектодинамика» массивов горных пород, в том числе и областей подготовки землетрясений подразумевает модель напряжённо-деформированного состояния геологической среды с описанием особенностей и механизмов деформационных процессов. Основу её составляет тектодинамическая система (ТДС) – как модель взаимодействия напряжений, движений и деформаций в соответствующих иерархических уровнях объёмов геологической среды [5]. Эта модель призвана объяснять и освещать механизмы процессов разрушения, не только возникших, но и прогноза будущих, их возможное развитие. Такой подход обязывает комплексное изучение геологической среды различными геологическими,

геофизическими, тектонофизическими методами, а именно структуры, особенностей тектонических движений и деформаций, реконструкции тектонических полей напряжений не только небольших участков горных массивов, но и значительно больших объёмов. Особенно, если это относится к «областям подготовки землетрясений».

Методика и результаты исследований

При изучении напряжённо-деформированного состояния массивов горных пород используются методы и способы измерения горного давления (инструментальные), методы изучения деформаций и реконструкции полей напряжений на основе геолого-структурных данных (тектонофизические). Кроме того имеются пути решения подобных задач на основе расчётно-теоретического подхода и экспериментального моделирования. Рассмотрение отдельных аспектов этих методов и возможностей их комплексного применения для решения проблемных вопросов горнорудного производства – задача не простая, имеющая фундаментальную специфику. Использованные нами методы отличаются и дополняют их. Строго говоря, «тектодинамические исследования» представляют не одну методику, а комплекс методов, основанных на единой методологии системно-иерархического подхода [6]. Используются методы статистического анализа по количественному выделению иерархии объёмов действия ТДС разных рангов, структурно-геологическое изучение морфологии, кинематики и деформационных элементов, тектонических движений и деформаций разных рангов. При выполнении отдельных разделов настоящей работы использована разработанная автором методика кинематической реконструкции позднекайнозойских смещений тектонических блоков, а также методы изучения деформаций в массивах на основе комплекса полевых тектонофизических наблюдений, в том числе на основе статистического анализа трещиноватости, выделения зон деформаций разных уровней с использованием их для реконструкций полей тектонических напряжений. Реконструкции осуществляются не только для локальных объемов, но и для крупных областей региональных уровней.

Методика кинематической реконструкции смещений тектонических блоков основана на сборе данных по зеркалам скольжений в массиве горных пород по специально распределённым пунктам наблюдений. На основе полевых замеров элементов борозд скольжений производится расчёт их азимутов направлений (условно «векторов») смещений и построение их роз диаграмм. Расчёты и построения выполняются с помощью специально разработанной автором компьютерной программы. Определения азимутов «векторов» борозд скольжений записываются в отдельный файл, который в последующем используется для определения суммарного «вектора» смещения (например, с построением роз-диаграмм направлений подвижек) изучаемого блока.

Такая методика реконструкции «векторов» смещений оказалась весьма информативной при анализе кинематики и динамики прибрежных бортов крупных водохранилищ и складчато-блоковых элементов очаговых областей некоторых сильных землетрясений. В качестве примера приведём результаты полевого обследования массива горных пород основания у прибрежной зоны Чарвакского водохранилища вблизи плотины.

В строении массива горных пород бортов водохранилища выделены крупнейшие зоны разрывных нарушений, которые образуют ступенчатый рельеф с разным гипсометрическим положением террасовых поверхностей (Q_2), что свидетельствует о молодости движений. В целом для всего обследованного участка вокруг водоема характерно два направления простирания трещиноватости: 1) азимут простирания 10º-20º (190º-200º); 2) азимут простирания 80º-85º (260º-265º). Преобладают падения плоскостей на юго-восток, и чуть меньше - на северо-запад. На участке вблизи плотины отмечается 4 направления ориентации плоскостей трещин: одно наиболее выраженное (азимут простирания 10º-15º) и три менее выраженных (азимут простирания 80º, 320º, 90º). Выполнено изучение кинематических показателей с расчётом суммарных «векторов» подвижек отдельных блоков бортов Чарвакского водохранилища (рис.1).

На небольшом участке южного борта каньона вблизи створа плотины «векторы» смещений имеют ориентацию на запад-юго-запад. Северный борт каньона испытывает смещения преимущественно к юго-востоку. В южном борту водоема взбросо-сдвиги и сбросо-сдвиги имеют направление на северо-восток и юго-восток. На участках вблизи плотины в северном и южном бортах каньона отмечается повышенная частота встречаемости свежих зеркал скольжений. Особенно четко они проявляются у нижнего бьефа плотины по плоскостям: азимут падения 335º < 60º , 90º < 55º. В большинстве поверхностях смещения висячих крыльев направлены в сторону водоема.

Характер остаточных деформаций свидетельствует о том, что блоки горных пород нижней части водоема, как бы продавливаются под вышележащие породы. Были получены материалы реконструкций полей напряжений, которые здесь не приводятся. На основе полученных результатов было выявлено совпадение элементов падения и кинематики плоскостей трещин горных пород основания и наблюдённые в цементационной потерне. Были высказаны соответствующие рекомендации и обращено внимание на необходимость более детальных исследований генезиса трещиноватости в теле плотины, выяснение связи их с техногенным влиянием эксплуатации водоема, и с тектодинамикой основания с целью обеспечения безопасности эксплуатации сооружения.

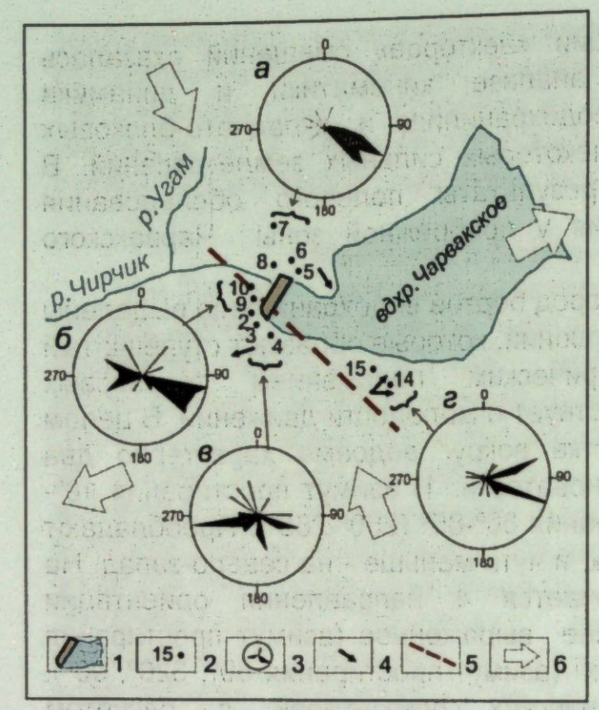


Рис.1. Диаграммы суммарных «векторов» подвижек отдельных блоков массива горных пород бортов водохранилища

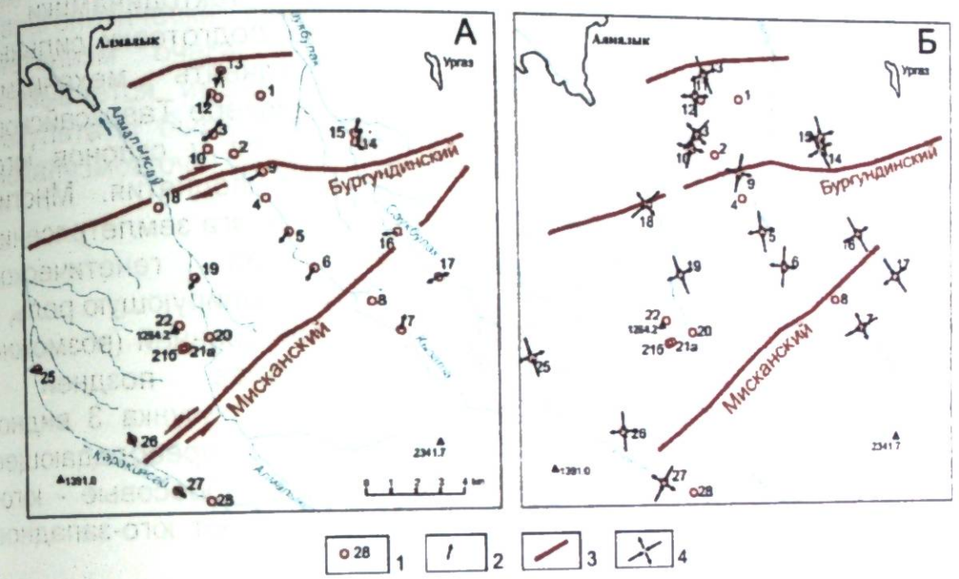
Условные обозначения: 1- акватория водохранилища, 2- пункты полевых тектонофизических наблюдений, 3 – круговые диаграммы преимущественной ориентации «векторов» подвижек висячих блоков на сетке Вульфа (верхняя полусфера), 4 – суммарный «вектор» (направление) подвижки отдельных блоков, 5 – линия разделяющая разнонаправленные подвижки блоков массива горных пород, 6 – направления активных внешнеприложенных усилий сжатия и растяжения регионального уровня.

Подобные исследования современной тектодинамики массивов горных пород в районах разработки месторождений полезных ископаемых имеют самостоятельное значение. В Алмалыкском горнорудном районе полевые наблюдения были выполнены в междуречьях Саукбулак – Алмалыксай, Алмалыксай-Каракиясай. Отдельные фрагменты составленных по результатам наблюдений тектодинамических схем приводятся на рисунке 2.

На всём протяжении долин отмеченных рек, от нижнего до среднего, и верхнего течения, массивы горных пород рассечены крупными протяжёнными трещинами, зонами дробления различных систем. В долине Кызата (п.н. 4) они представлены преимущественно азимутами и углами падений: 160°<60°, 340°<50°, 210°<80°, 310°<60°, 280°<55° и 100°<75°. В зонах Бургундинского и Мисканского разломов отмечаются характерные признаки активности - ступени и смещения элементов рельефа. Ранее эти разломы считались не активными в новейшее время. Отмеченные признаки свидетельствуют о современной их активности.

Анализ данных кинематики с определениями азимутов векторов подвижек (рис.2, А) позволяет выявить преобладающее смещение блоков к югу и юго-востоку. Особенно чётко они проявлены в блоке, ограниченном указанными выше разломами. Отмечается разнонаправленный характер подвижек крупных тектонических блоков. Анализ ориентировок осей напряжений (рис.2, Б) локальных объемов пунктов наблюдений свидетельствует о преобладании динамических условий формирования взбросовых и взбросо-сдвиговых деформаций. В

северной части описываемого района отмечаются север-северо-восточные ориентировки осей напряжений сжатия.



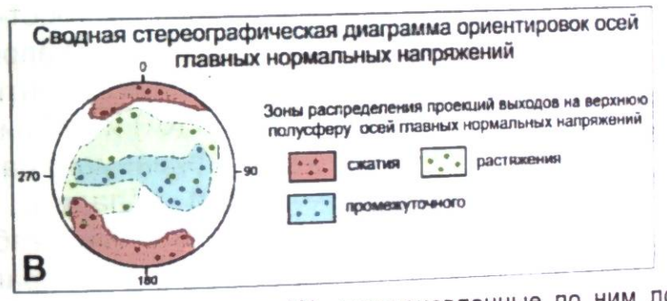


Рис.2. Данные по кинематике (А), восстановленные по ним локальные (Б) и сводная для района (В) ориентировки осей главных нормальных напряжений междуречья Саукбулак Каракиясай Алмалыкского горно-рудного района

Условные обозначения: 1- пункты наблюдений, 2- суммарные «векторы» подвижек массивов пунктов наблюдений, 3 – активные разломы, разделяющие блоки с разной тектодинамикой

В средней части, между Бургундинским и Мисканским разломами отмечается небольшой разворот осей сжатия к субмеридиональному и северо-западному секторам. В южной части вновь отмечены северо-восточные ориентировки отмеченных осей напряжений. Эти локальные вариации осей напряжений проявляются в общем фоне субмеридионального сжатия при наклонном положении двух других осей более общего, регионального поля напряжений (рис.2, В). Судя по характеру поля региональных напряжений и элементов кинематики, обнаруженным в зонах разломов, создается впечатление выжимания блока, зажатого между Бургундинским и Мисканским разломом к западу. Эти данные могут быть весьма полезны при горнопромышленной разработке месторождений при решении различных производственных

задач, таких как поиски жил рудных тел, определение параметров заложения горных выработок, укрепления бортов карьеров и т.п.

Исследования особенностей современной тектодинамики в сейсмоактивных районах, и особенно, в областях подготовки сильных землетрясений позволяет определять и уточнять механизмы произошедших землетрясений. Покажем это на примере Таваксайского землетрясения (6.12.1977). Эпицентр его находится у склонов юго-западной периклинальной части Каржантауского поднятия. Многие исследователи констатируют факт приуроченности очага землетрясения к Каржантауской разлому, без выяснения генетической обусловленности. Разлом выполняет структуро-контролирующую роль, в рельефе выражен неширокой полосой перехода от древней (возможно домеловой) откопанной поверхности к более поздней - среднечетвертичной поверхности выравнивания. Из рисунка 3 видно, что сбросовые смещения описываемого района имеют преобладающее западное - юго-западное направление (рис.3, а), а взбросовые - юго-западное (рис.3, б). Почти все взбросы и сбросы имеют юго-западное направление подвижек.

Периклинальная часть Каржантауской горст-антиклинали характеризуется взбросо-сдвиговым полем напряжений с субгоризонтальной юго-восток – северо-западной оиентировкой оси сжатия (σ_3), субвертикальной осью растяжения (σ_1) и субширотной осью σ_2 (рис.3, ж). Оно является общим для рассматриваемого района. В этом поле напряжений должны формироваться и обладать наибольшей активностью северо-западные, субмеридиональные взбросовые и левосдвиговые дислокации, а также взбросовые и правосдвиговые структурные элементы северо-восточной ориентировки. Главнейшими такими зонами в пределах описываемого района являются зоны Каржантауского разлома с элементами правосторонних сдвиговых смещений, а также Шуробсайская зона разломов (рис.3, цифра в кружке 4). В этой зоне обнаружены многочисленные левосдвиговые смещения. В пределах этой зоны в средней части склона, к югу от горы Сарытепа, в месте пересечения Каржантауского и Шурабсайского разрывных зон обнаружен крупный провал с признаками палеосейсмодислокации. Активные тектонические деформации в направлении поперек простиранию Каржантау обнаружены на участке "раздваивания" русла Шурабсая. Здесь по зоне субмеридионального разлома палеозойские породы и древняя откопанная поверхность выравнивания разорваны и смещены по горизонтали до 1 км. В целом, по Шурабсайской зоне (юго-восток-восточной ориентировки) наблюдается интенсивное смещение Азатбашско-Карачатауской складчато-глыбовой структуры к югу в направлении Чирчикской депрессии.

Амплитуда смещения за позднеэоцен-голоцен составляет около 2 км. Здесь налицо формирование взбросов северо-восточной

ориентировки, а также север-северо-западных и субмеридиональных сдвиговых разрывов. Все отмеченные разрывные нарушения парагенетически связаны общим полем тектонических напряжений. Механизм очага Ташкентского (26.04.1966) землетрясения нами связывается именно с этим полем напряжений. Полученные нами результаты были сопоставлены с сейсмологическими определениями механизмов очагов землетрясений.

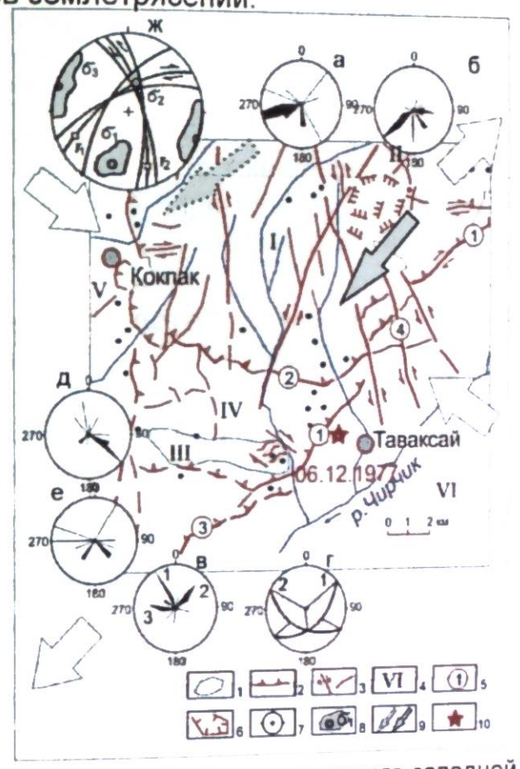


Рис.3. Схема современной тектодинамики юго-западной периклинали Каржантауского поднятия

Условные обозначения: 1- выходы до MZ пород; 2-взбросы; 3-разрывы и сдвиги; 4- структурные элементы - поднятия: Азатбашское (I), Акташское (II), Карачатауское (III); прогибы: Азатбашский (IY); впадины: Кокпакский (Y), Чирчикский (YI); 5- разломы (1-3 -ветви Каржантауского разлома: 1-северо-восточная; 2-широтная; 3-юго-западная; 4- Шуробсайская сдвиговая зона); 6-палеосейсмодислокация «Шуробсай»; 7-диаграммы: а-е – роза «векторов» подвижек поверхности взбросов, д- «векторы» правых сдвигов, е-то же, левых; ж-региональное поле напряжений II-го ранга по структурно-геол.данным; 8- оси главных нормальных напряжений сжатия (σ_3), растяжения (σ_1) и промежуточного (σ_2) и области их разброса; 9- направление подвижек блоков - сбросовые (пунктирная), б- взбросовые (сплошная); 10- эпицентр Таваксайского землетрясения 6.12 1977 (M=5.2).

Обсуждение результатов

Приведённые примеры изучения современной тектодинамики охватывают различные сферы приложения: исследования бортов водохранилища и основания гидротехнических сооружений, районы

разработки месторождений полезных ископаемых и эпицентральные области землетрясений. На основе сопоставления материалов по кинематике и динамике массива горных пород основания плотины водохранилища с данными предварительного обследования цементационной потерны были выявлены важные данные, которые необходимы для повышения надёжности и безопасности сооружения. Отмечена повышенная частота встречаемости свежих зеркал скольжений на участках вблизи плотины в северном и южном бортах каньона. Особенно четко они проявляются у нижнего бьефа плотины по плоскостям: азимут падения 335° < 60° , 90° < 55°. В большинстве поверхностях смещения висячих крыльев направлены в сторону водоема. Некоторые из них совпадают с трещинами с цементационной потерне. Характер остаточных деформаций свидетельствует о том, что блоки горных пород нижней части водоема, как бы продавливаются под вышележащие породы.

Полученные схемы современной тектодинамики массивов горных пород Алмалыкского горнорудного района детализуют данные о напряжённо-деформируемом состоянии. Для того, чтобы использовать их для решения прикладных задач горного дела необходимо выполнить детализационные работы на конкретных площадях возведения горных сооружений и выполнения производственных работ.

Сравнительный анализ полученной схемы современной тектодинамики юго-западной периклинали Каржантау с механизмами очагов землетрясений этого района позволил выявить следующее. Как видно, на рисунке 4 диаграммы механизмов очагов Таваксайского землетрясения Е.М.Безродного (А) и Л.А.Плотниковой и др (Б). имеют различие, которое ещё более усугубляется предпочтением этих авторов при выборе основной плоскости разрыва. В варианте А предпочтение отдается плоскости I (az пад.135° < 65°), в варианте Б - предпочтение отдаётся субмеридиональной плоскости I (az пад.274° < 50°). Субъективный фактор оказал серьёзное влияние на выбор плоскости сейсмогенной подвижки. Какой из них реальный?

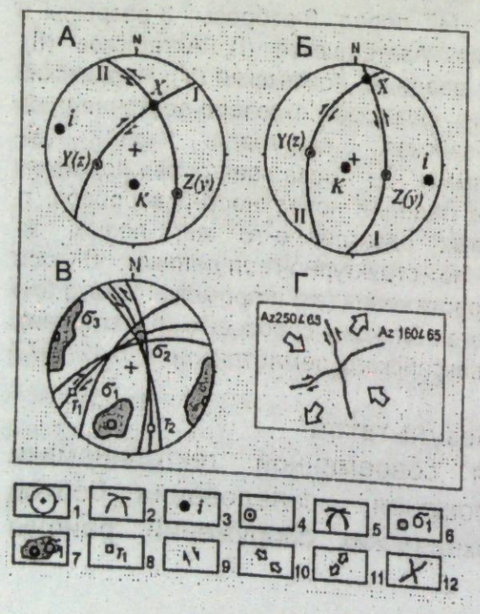


Рис.4. Механизмы очагов Таваксай- ского землетрясений 6 декабря 1977 года : А- по Е.М.Безродному [7]; Б – по Л.А.Плотниковой и др [8]; В и Г – по тектодинамическим данным [9]

Условные обозначения:

1-стереодиаграммы (верхн.полусфера с.Вульфа); 2-нодальные поверхности; 3 - точки выхода оси сжатия (*i*), растяжения (К) и промежуточного(Х) ; 4- оси максимальных

касательных напряжений; 5- разброс сколовых поверхностей; 6 – оси главных нормальных напряжений растяжения (σ_1), промежуточного (σ_2), сжатия (σ_3); 7- области разброса осей напряжений; 8- оси максимальных касательных напряжений; 9- элементы сдвига; 10- внешнее усилия сжатия; 11- внешнее растягивающее усилие; 12 – вероятные сколы.

Как видно из диаграмм (рис.3, Ж) и (рис.4, В) поле напряжений второго ранга, характерное для юго-западной части Каржантауского поднятия вполне согласуется с определениями Е.М.Безродного (рис.4, А). А вторая диаграмма (рис 4, Б) выглядит иначе (пл.I, рис.4, Б). И хотя выбор этой плоскости авторами был основан «на совместном анализе данных о пространственном распределении зон форшоков.. и афтершоков.. [8], всё же судя по результатам схемы современной тектодинамики юго-западной части Каржантау (рис.4, В и Г) основной поверхностью следует считать плоскость II Е.М.Безродного (рис.4, А). Возможно, что выбор плоскости (I) Е.М.Безродным был сделан на простом совпадении с Каржантауской зоной разломов, без учета современной тектодинамики района. Как видно сделано важное уточнение механизма очага землетрясения.

Выводы

1. Исследование показателей динамики массивов горных пород требуются для нужд различных отраслей народного хозяйства: для горного дела, для строительства, обеспечении безопасности эксплуатации крупных уникальных объектов, в том числе водохранилищ, АЭС, для понимания механизмов сейсмотектонических процессов и районирования сейсмической опасности. Наблюдаемое разнообразие в изучении динамики массивов горных пород определяет необходимость разработки единого научного подхода. Предлагается объединение исследований в рамках нового направления, именуемой как «современная тектодинамика»
2. Опыт применения методов изучения «современной тектодинамики» основания плотины Чарвакского водохранилища, Алмалыкского горнорудного района позволил получить важные новые данные о кинематике и динамике массивов горных пород, связанных с современными геологическими процессами. Они имеют соотвествующую научную и практичексую значимость.
3. Исследования кинематики и динамики эпицентральных областей сильных землетрясений с реконструкцией полей тектонических напряжений позволяет изучить механизм современных сейсмотектонических процессов, уточнить механизм формирования очагов землетрясений, не только произошедших, но и осуществить прогноз механизма очага будущего землетрясения. Констатируется необходимость пересмотра всех определений механизмов очагов сильных землетрясений, основанных на инструментальных данных, их

уточнение на основе детальных полевых тектонофизических наблюдений деформаций в эпицентральных областях с реконструкцией иерархии полей тектонических напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рахимов В.Р. и др. // Горный вестник Узбекистана. 2008. № .1 С. 44
2. Геодинамическое районирование недр. Метод. указания. Под ред. Петухова И.М., Батугиной И.М. Л., ВНИМИ, 1990. – 88 с.
3. Ерпылев Н.П. Энциклоп.-кий словарь юного астронома.- М.:Педагогика,1986.-336 с.
4. Николаев Н.И. Новейшая тектоника и геодинамика литосферы.- М.: Недра, 1988.- 490с.
5. Николаев П.Н. Методика тектонодинамич.-го анализа. -М.: Наука, 1992.-340 с.
6. Умурзаков Р.А. /Актуальные проблемы современной сейсмологии. Материалы международной конференции 12-15 октября 2016 г. – Ташкент. 2016. -С. 115-122.
7. Безродный Е.М. / В сб. Исфара-Баткентское и Таваксайское землетрясения 1977 года. – Ташкент: Фан, 1981. С.106-112.
8. Плотникова Л.М., Соколова И.А. и др. / В сб. Исфара-Баткентское и Таваксайское землетрясения 1977 года. – Ташкент: Фан, 1981. С.87-106.
9. Умурзаков Р.А. / «Тектонофизика сегодня (к юбилею М.В.Гзовского)». Москва: ОИФЗ РАН. 2002. С.299-308.

УДК 624.157.31

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРИВЕДЕННЫХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ОПОЛЗНЕВОГО СКЛОНА КОКТОБЕ ГОРОДА АЛМАТЫ

Р.Б. Баймахан[1], А.Р. Баймахан[2], Н.К. Молдакунова[3]
[1]Институт механики и машиноведения КН МОН РК г. Алматы, Казахстан
[2]Атырауский государственный университет, город Атырау. Казахстан
[3]Каракольский государственный университет, г. Каракол, Кыргызстан

Статья посвящена определению степени влиянии инфильтрации на физико–механические свойства грунтов оползне опасного склона горы Коктобе, расположенной в пределах города Алматы. Анализируются результаты теоретических и экспериментальных работ посвященных определению физико–механических свойств водонасыщенного грунта. На основе всестороннего анализа формулируются новые выводы, и предлагается методика определения модуля Юнга и коэффициента Пуассона для водонасыщенного грунта в зависимости от влажности и степени насыщенности дождевой воды. Предлагается полная таблица данных физико–механических свойств водонасыщенного грунта.

Ключевые слова: грунт, водонасыщенность, влажность, оползень, склон

TO THE DEFINITION OF THE GIVEN PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SOILS OF LANDSLIDE SLOPE OF KOKTOBE OF CITY ALMATY

R. B. Baimakhan[1], A. R. Baimakhan[2], N. M. Moldakunova[3]
[1]Search Institut Mechanics and Engineering, city of Almaty, Qazaqstan
[2]Atyrau State University, the city of Atyrau, Qazaqstan
[3]Kyrgyz State University, city of Karakol, Kyrgyzstan

The article is devoted to determination of degree of influence of infiltration on physical and mechanical properties of soils landslide of dangerous slope of Mountain Koktobe, located within the city of Almaty. The results of theoretical and experimental works devoted to the definition of physical and mechanical properties of the saturated soil are analyzed. On the basis of the comprehensive analysis new conclusions are formulated, and the

method of definition of the Jung module and Poisson coefficient for the water-saturated ground depending on humidity and degree of saturation of rainwater is proposed. The complete data table of physical and mechanical properties of the saturated soil is offered.

Keywords: soil, saturation, humidity, landslide, slope

Оползнеопасная гора Коктобе находится на восточной части в пределах города Алматы. Если ее высота составляет 250м. от нижней основании, то телевышка, сооруженный на ней имеет высоту 373м. Имеются многочисленные инженерные сооружения, кафе, рестораны, хозяйственные построения, панорамное кольцо и другие. Несмотря на оползневой опасности не только ее подножия, но и в значительной степени нижние склоны западной части густонаселены – построены многочисленные коттеджи с подрезками, которые ослабляют связи сплошности грунтов. У подножия восточной части имеется также густонаселенный поселок. В последние десятилетие участились мелкие оползневые процессы, на склонах образовались трещины разрывы длиной и шириной до двух метров. Устойчивости ее покровных грунтов на возможные сдвижения еще не исследованы современными научными методами и подходами. Известно, что поверхностные склоновые грунты образованы преимущественно различного рода суглинками. Участившиеся мелкие оползневые процессы говорят о том, что кроме других факторов сюда вносят свои лепты инфильтрационные процессы. Для исследования напряженно – деформированных состояний (НДС) прежде всего необходимо иметь информацию об их физико – механических свойствах.

Для проведения теоретических расчетов по определению НДС оползнеопасных склонов Коктобе с водонасыщенными покровными грунтами, необходимо задавать их физико-механические свойства (ФМС), соответствующие различным влажностям. Определению ФМС влажных грунтов посвящены мнгочисленные работы, например, З.Г.Тер–Мартиросяна, Б.М.Черепанова, А.Б.Алюшина и для водонасыщенного двухфазного грунта, Л. А. Эйслера и т.д. [1], [2], [3]

Если известны экспериментальные данные модуля сдвига G_0 или объемной деформации K_0, то значений модуля упругости E для водонасыщенного грунта можно вычислить по обычным выражениям теории упругости. З.Г. Тер–Мартиросян в работе [1] приводит некоторые такие зависимости для влагонасыщенного грунта в виде графических зависимостей. Им показано, что с увеличением величины влажности W, при различной плотности скелета значения модуля сдвига G_0 и объемной деформации K_0 и значения прочностных характеристик - сила сцепления C и угла внутреннего трения φ падают. Такие данные

имеются и в других многочисленных исследователей, например, в работе Н.Н. Маслова [4] и других.

С помощью таких графиков снимая значений G_0 или K_0, значение модуля Юнга E для влагонасыщенного грунта для каждого шага увеличения влажности, можно вычислять с помощью одной из этих формул $E = 2G_0(1+\nu)$, $E = 3K_0(1-2\nu)$ (1)

Так как значение коэффициента Пуассона ν изменяется незначительно и почти не влияет на результаты упругого расчета, его можно считать постоянной для всех вариантов расчетов.

Кроме единичной работы Л.А. Эйслера [2], [3], фактически отсутствуют явные аналитические выражения для определения модуля Юнга E, коэффициента Пуассона ν.

В экспериментальных методах определения свойств упругости многокомпонентных материалов вносятся погрешности из–за осреднения в виде квазиоднородного материала. Погрешности такого рода неизбежны и при теоретических расчетах, которые, несомненно, влияют на результат исследования по определению закономерностей распределения и концентрации напряжений в грунтах. Имеются некоторые соображения приближенного рассмотрения этого вопроса для водонасыщенного грунта.

Согласно работам [3], [4], [5], [6] модуль объемного сжатия грунта K_V вычисляется выражением $K_V = \dfrac{E_z}{3(1-2\nu_z)}$ (4),

где E_z, ν_z- модуль упругости и коэффициент Пуассона для грунта. Здесь приведенный объемный модуль для водонасыщенного грунта определяется комбинациями модулей для твердых частиц K_T и воды K_B [7]:

$$K_T = \frac{E_T}{3(1-2\nu_T)},$$

$$K_B = \frac{E_B}{3(1-2\nu_B)}, \qquad (5)$$

$$K^+ = \frac{K_T K_B}{K_T - K_B}.$$

Для воды известно, что $K_B = 2000$ Мпа [7]. С помощью вышеприведенных соотношений теперь мы можем записать выражению упругих характеристик для осредненного материала, который имитирует водонасыщенного грунта. С учетом совместного движения компонент, т.е. без учета оттока воды из пор грунта, имеем

$$K_V^{\Э} = \beta K^*, \qquad (6),$$

где $\beta = 1 + \frac{nK_V}{K^+}$, $K^* = \frac{K_T K_B}{nK_T + mK_B}$ - модуль объемного сжатия "грунтовой массы". Здесь n, m – доли объемных содержаний в грунте твердой и жидкой (газонасыщенной) компонент соответственно.

Приведенные модули упругости $E^{\Э}$ и коэффициенты Пуассона $\nu^{\Э}$ и модуль сдвига $G^{\Э}$ для водонасыщенного грунта вычисляются выражениями [2], [3]:

$$E^{\Э} = \frac{9\beta K^* G}{3\beta K^* + G},$$

$$\nu^{\Э} = \frac{3\beta K^* - 2G}{2(3\beta K^* + G)}, \qquad (7)$$

$$G^{\Э} = G.$$

Уточняем степень пористости грунта согласно Н.А. Цытовичу [2]:

$$\eta = \frac{n}{m} \text{ или } \eta = \frac{n}{1-n}. \qquad (8)$$

Нетрудно заметить, что, $n+m=1$. Они непосредственно входят в выражение для K^*. Согласно выражениям (8) можно установить типы грунтов. Значения η равные 0,2÷1,5–соответствуют обычному, 2÷12 – органно-минеральному грунту, или же η <1–определяет уплотненные и η >1–рыхлые грунты.

С помощью выражений (1) - (8) мы можем вычислить упругие свойства для водонасыщенных грунтов, которые образуют покровные грунты оползневых склонов с различными вариациями твердой и жидкой компонент грунтов. Результаты таких вычислений даны в таблице 1.

Таблица 1.

Вид грунта	$E_Г$, МПа	$\nu_Г$, МПа	n, %	m, %	$E^{\Э}$, МПа	$\nu^{\Э}$, МПа
Глина ленточная слоистая мягкопластическая	8	0,42	90	10	7,99	0,419
			80	20	7,97	0,418
			70	30	7,92	0,406
			60	40	7,81	0,390
Супесь твердая	9	0.32	90	10	8.99	0.318
			80	20	8.93	0.310
			70	30	8.81	0.292
			60	40	8.54	0.253
Суглинок	12	0,40	90	10	11,99	0,399
			80	20	11,95	0,394

			70	30	11,85	0,383
			60	40	11,65	0,360
Супесь текучая	18	0,31	90	10	17,97	0,308
			80	20	17,86	0,300
			70	30	17,59	0,280
			60	40	17,04	0,257
Глина тонкослоистая твердая	300	0,35	90	10	299,63	0,348
			80	20	298,40	0,342
			70	30	294,59	0,326
			60	40	287,23	0,293

Здесь $E_Г$ – модуль упругости при естественной влажности грунта,

$\nu_Г$ – коэффициент Пуассона при естественной влажности грунта,

n – доля содержания в грунте твердой компоненты,

m – доля содержания в грунте жидкой компоненты,

$E^{\Э}$ – приведенный модуль упругости для водонасыщенного грунта,

$\nu^{\Э}$ – приведенный коэффициент Пуассона для водонасыщенного грунта.

В механике грунтов известно, что в процессе сдвижения оползневой массы по склону при встрече с преградой типа неровности, шероховатости будет иметь место явление выпучивания. Они возможны также при естественном процессе осушения водонасыщенного грунта. А в глобальном масштабе выпучивание появляется при тектоническом сжатии в осадочных толщах. В этих случаях выпучивание происходит за счет обратного сжатия или растяжения.

В таблице 2 для указанных в таблице 1 грунтов приведены значения ФМС. В части I таблицы расположены значения по Н.С. Булычеву [6]. Данные части II вычислены согласно формулам по Н.Н. Маслову [4]. Вычислены также $\sigma_{раст}$- сопротивление сдвигу при растяжении. $\sigma_{сжат}$- сопротивление сдвигу при сжатии и $\tau_{сдв}$ -предельное сопротивлеие сдвигу. Они определены с помощью кругов Мора:

1) объемный вес скелета грунта: $\gamma_c = \frac{\gamma_Г}{1+W}$,

2) удельный вес грунта: $\gamma_у = \frac{\gamma_Г}{1-W(\gamma_Г - 1)}$,

3) пористость грунта: $n = \frac{\gamma_у - \gamma_c}{\gamma_c}$,

4) коэффициент пористости: $\varepsilon = \frac{n}{1-n}$,

5) влагоемкость (влажность грунта, которую он имел бы при данной пористости в случае полного насыщения водой): $W_c = \frac{\varepsilon\gamma_Г}{\gamma_у} * 100\%$,

6) объемный вес грунта соответствующий полной влагоемкости: $\gamma_e = \gamma_c(1+\frac{W_e}{100})$.

Таблица 2 [7]:

№	Вид грунта	I-часть					
		W, %	$\gamma_г$*10², МН/м³	C*10², МПа	φ^0	$\nu_г$	$E_г$, МПа
1.	Глина ленточная слоистая мягкопластическая	36	1.89	0.8	16	0.42	8
2.	Супесь твердая	22	1.98	1.2	20	0.32	9
3.	Суглинок	20	2.04	2.0	22	0.40	12
4.	Супесь текучая	15	2.28	2.0	26	0.31	18
5.	Глина тонкослоистая твердая	12	2.15	20	25	0.35	300

№	II-часть								
	n, %	ε	W_e, %	γ_c*10², МН/м³	γ_y*10², МН/м³	γ_e*10², МН/м³	$\sigma_{раст}$*10², МПа	$\sigma_{сжат}$*10², МПа	$\tau_{сдвиг}$*10², МПа
1.	50.7	1.030	70	1.37	2.78	2.32	1.15	2.4	1,4
2.	35.8	0.558	44	1.62	2.52	2.33	1.78	3.09	2,25
3.	34.1	0.517	41	1.70	2.58	2.59	2.8	5,3	3,6
4.	29.2	0.425	34	1.98	2.82	2.65	2.7	6,2	3,8
5.	22.9	0.297	25	1.92	2.49	2.40	22,4	64,8	33,6

Здесь W – естественная влажность грунта,
$\gamma_г$ – объемный вес грунта,
C – коэффициент сцепления,
φ – угол внутреннего трения,
$\nu_г$ - коэффициент Пуассона,

$E_г$ - модуль упругости,
n – пористость грунта,
ε - коэффициент пористости,
$W_в$,- полная влагоемкость,
γ_C - объемный вес скелета грунта,
γ_y - удельный вес грунта,
γ_e - объемный вес грунта при полной влагоемкости,
$\sigma_{раст}$ - сопротивление сдвигу при растяжении,
$\sigma_{сжат}$ - сопротивление сдвигу при сжатии.

В таблице 3 даны вычисленные нами объемы воды в соавторстве с автором работ [7]. Они необходимы для достижения грунта заданной влажности при единичном объеме. Здесь влажность задавалась в интервале от естественной до полной влагоемкости. Вычисления проведены так же согласно формулам Маслова[4]:

1) объемный вес грунта соответствующий заданной влажности ($W_з$):

$$\gamma_{з.влаж.} = \gamma_c(1+\frac{W_з}{100}),$$

2) объемный вес воды: $q_в = \gamma_c(W_з - W)$.

Таблица 3.

Вид грунта	$W_з$, %	$\gamma_{з.влаж.}$*10², МН/м³	$q_в$, тонна
Глина ленточная слоистая мягкопластическая	40	1,91	0,055
	45	1,99	0,123
	50	2,06	0,191
Супесь твердая	30	2,11	0,129
	35	2,19	0,210
	40	2,27	0,291
Суглинок	25	2,13	0,085
	30	2,21	0,170
	35	2,29	0,255
Супесь текучая	20	2,38	0,099
	25	2,48	0,198
	30	2,57	0,297
Глина тонкослоистая твердая	15	2,21	0,057
	20	2,30	0,153
	25	2,40	0,249

Почвенные покровы склонов горы Коктобе преимущественно слагают суглинки, супеси, глины, лессы и т.д. Водонасыщение грунтов Северных склонов Заийлийского Алатау может произойти вследствие насыщения атмосферными осадками (инфильтрации), поднятия уровня грунтовых вод (фильтрации). А так же в результате техногенных

воздействий, типа из-за отлива воды в грунты склонов Коктобе из многочисленных построений.

Таким образом, данные из составленных нами таблиц могут восстановить пробелы по определению ФМС водонасыщенных покровных грунтов горы Коктобе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мартиросян З.Г. Прогноз механических процессов в массивах многофазных грунтов.– М.:Недра, 1986. –292 с
2. Эйслер Л. А. О связях между деформациями компонент водонасыщенного грунта. // Известия ВНИИГ, 1967, №83, 359-376с.
3. Эйслер Л. А. К расчету эффективных напряжений в водонасыщенном грунте при динамических воздействиях // Известия ВНИИГ, 1973, вып 80, 104-115с.
4. Маслов Н.Н., Котов М.Ф., Зинюхина Н.В. Задачник по механике грунтов. М., 1963. 13- 17 с.
5. Цытович Н.А. Механика грунтов –М.: 1979. –272 с
6. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах. М., Недра, 1989. 270с.
7. Красников Н.Д. Сейсмостойкость гидротехнических сооружений из грунтовых материалов. - М.: Энергоиздат, 1981. – с. 94 – 97.
8. Курманбек Кызы Н. Устойчивость систем горных склонов с учетом оползневой и сейсмической опасности Автореф., … дисс. канд. техн. наук –Бишкек, 2010, –19 с.
9. Рысбаева А.К. Разработка анизотропной модели строения селезащитных грунтовых плотин и обоснование инновационной технологии ее возведения. Автореф., … дисс. канд. техн. наук –Бишкек, 2014, –22 с.
10. Баймахан А.Р. Разработка математической модели и комплекса программ для управления состоянием системы «анизотропный грунт – фундамент – здание». Диссертация на соискание степени доктора философии (PhD) Алматы 2017. 163с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Копылова Галина Николаевна, доктор геолого-минералогических наук, доцент, заведующая лабораторией, Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (КФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Петропаловск-Камчатский, e-mail: gala@emsd.ru
2. Тажибаев Кушбакали Тажибаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией, Институт геомеханики и освоения недр НАН КР, г. Бишкек, e-mail: kushbak@yandex.ru
3. Тажибаев Данияр Кушбакалиевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией, Институт геомеханики и освоения недр НАН КР, г.Бишкек, e-mail: dantaji@mail.ru
4. Хачай Ольга Александровна, доктор физико-математических наук, с.н.с.. ведущий научный сотрудник, Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, e-mail: olgakhachay@yandex.ru
5. Хачай Андрей Юрьевич, кандидат физико-математических наук, доцент, Уральский Федеральный Университет, г. Екатеринбург, e-mail: andrey.khachay@yandex.ru
6. Шаров Николай Владимирович, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, Институт геологии обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (ИГ КарНЦ РАН), г. Петрозаводск, e-mail: sharov@krc.karelia.ru
7. Коваленко Михаил Денисович, доктор физико-математических наук, с.н.с., ведущий научный сотрудник, Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук (ИТПЗ РАН), г. Москва, e-mail: kov08@inbox.ru
8. Меньшова Ирина Владимировна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук (ИТПЗ РАН), доцент кафедры высшей математики Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: menshovairina@yandex.ru

9. Кержаев Александр Петрович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук (ИТПЗ РАН) г. Москва, e-mail: alex_kerg@mail.ru
10. Астраханцев Юрий Геннадьевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, e-mail: skvgeoph@mail.ru
11. Баженова Евгения Анатольевна, научный сотрудник, Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, e-mail: bazenova_jena@mail.ru
12. Белоглазова Надежда Анатольевна, кандидат технических наук, заведующая лабораторией, Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, e-mail: bna408@mail.ru
13. Балек Александр Евгеньевич, доктор технических наук, с.н.с., ведущий научный сотрудник, Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, e-mail: balek@igduran.ru
14. Панжин Андрей Алексеевич, кандидат технических наук, ученый секретарь, Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, e-mail: panzhin@igduran.ru
15. Сашурин Анатолий Дмитриевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом геомеханики, Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, e-mail: sashour@igd.uran.ru
16. Ловчиков Александр Васильевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: vocson@goi.kolasc.net.ru
17. Евсеев Антон Владимирович, кандидат технических наук, научный сотрудник, Горный институт УрО РАН. г. Пермь, e-mail: evseev@mi-perm.ru
18. Асанов Владимир Андреевич, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией, Горный институт УрО РАН. г. Пермь, e-mail: ava@mi-perm.ru
19. Бутырин Павел Генрихович, кандидат технических наук, научный сотрудник, Горный институт УрО РАН. г. Пермь, e-mail: pbg2000@mail.ru
20. Корженков Андрей Михайлович, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией, Институт физики Земли им.О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, e-mail: korzhenkov@ifz.ru

21. Абдиева Светлана Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б.Н. Ельцина, г. Бишкек, e-mail: sv.abdieva@gmail.com
22. Рогожин Евгений Александрович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, руководитель Координационного прогностического центра. г. Москва, e-mail: eurog@ifz.ru
23. Сорокин Андрей Андреевич, научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, e-mail: aas@ifz.ru
24. Овсюченко Александр Николаевич, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, e-mail: ovs@ifz.ru
25. Ларьков Александр Сергеевич, научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, e-mail: las119@yandex.ru
26. Салихов Назыф Мунипович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, ДТОО "Институт ионосферы" АО "НЦКИТ", г. Алматы, e-mail: N1_Nazyf@mail.ru
27. Пак Галина Давидовна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ДТОО "Институт ионосферы" АО "НЦКИТ", г. Алматы, e-mail: gpak1@yandex.ru
28. Артиков Турдали Усманалиевич, доктор физико-математических наук, профессор , заведующий лабораторией, Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан, г.Ташкент, e-mail: artikovtu@mail.ru
29. Ибрагимов Роман Соломонович, доктор физико-математических наук, с.н.с., ведущий научный сотрудник, Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан, г.Ташкент, e-mail: ibrroma@yandex.ru
30. Ибрагимова Татьяна Людвиговна, доктор физико-математических наук, с.н.с., ведущий научный сотрудник , Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент
31. Мирзаев Муроджон Абдурахимджанович, младший научный сотрудник Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан, г.Ташкент
32. Атабеков Икром Урманович, доктор физико-математических наук, с.н.с., ведущий научный сотрудник, Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан, г.Ташкент, e-mail: atabekovi@mail.ru

33. Рычков Борис Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б.Н. Ельцина, г.Бишкек, e-mail: rychkovba@mail.ru
34. Комарцов Никита Михайлович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Высшая математика», зам. декана по учебной работе, Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б.Н. Ельцина, г.Бишкек, e-mail: komartsovnm@mail.ru.
35. Кулагина Маргарита Алексеевна, аспирант кафедры «Механика», Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б.Н. Ельцина, г.Бишкек,, e-mail: kulagina_m.a@mail.ru.
36. Степанова Юлия Юрьевна, магистрант Кафедры физики и микроэлектроники, Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б.Н. Ельцина, г. Бишкек, e-mail: stepanova_yulya_1995@mail.ru
37. Горбатов Евгений Сергеевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт физики Земли им.О.Ю. Шмидта РАН, г.Москва, e-mail: e.s.gor@mail.ru
38. Сорокин Андрей Андреевич, научный сотрудник, Институт физики Земли им.О.Ю. Шмидта РАН, г.Москва, e-mail: aas@ifz.ru
39. Заманова Айнур Гуммет кызы, доктор философии в области наук о Земле, с.н.с., старший научный сотрудник отдела «Современная геодинамика и космическая геодезия», Институт геологии и геофизики Национальной академии наук Азербайджана, г. Баку, e-mail: aynur-zamanova@rambler.ru
40. Абдылдаев Эркинбек Кыянович, доктор технических наук, профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г.Алматы, e-mail: abderkinbek@mail.ru
41. Садыгова Гюнель Рафаэль кызы, научный сотрудник отдела «Современная геодинамика и космическая геодезия», аспирант, Институт геологии и геофизики Национальной академии наук Азербайджана, г. Баку, e-mail: gsadigova@yahoo.com
42. Умурзаков Равшанбек Кимсанович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт сейсмологии АН Узбекистана, г.Ташкент, e-mail: Lika_7170 @mail.ru.
43. Юсупов Шухрат Сакиджанович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт сейсмологии АН Узбекистана, г. Ташкент, e-mail: shuhrat-1951@mail.ru

44. Шин Людмила Юрьевна, магистр, младший научный сотрудник,, Институт сейсмологии АН Узбекистана, г. Ташкент, e-mail: mila_sh_07@mail.ru
45. Адигамов Николай Сабирович, доктор физико-математических наук, профессор, Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б.Н. Ельцина, Бишкек, e-mail: nikadigamov@mail.ru
46. Рудаев Яков Исаакович, доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой «Механика», Кыргызско-Российский Славянский университет Б.Н. Ельцина, г.Бишкек, e-mail: rudaev36@mail.ru
47. Мамадалиева М.А., младший научный сотрудник Лаборатории моделирования энергонасыщенных сред Научной станции Российской академии наук, Бишкек, e-mail: merivanakilbekovna@yandex.ru
48. Корчин Валерий Александрович, кандидат физико-математических наук, с.н.с., ведущий научный сотрудник, Институт геофизики им. С.И.Субботина НАН Украины, г.Киев, e-mail: korchin@igph.kiev.ua
49. Ялымов Руслан Нариманович, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт геомеханики и освоения недр НАН КР, г.Бишкек, e-mail: yalymov@yandex.ru
50. Бейшеев Акылбек Куттубаевич, преподаватель, Институт горного дела и горных технологий им акад. У. Асаналиева КГТУ ИМ. И.Раззакова, г.Бишкек
51. Акматалиева Минажат Сабыровна, научный сотрудник, Институт геомеханики и освоения недр НАН КР, г.Бишкек, e-mail: danek-1@yandex.ru
52. Айтматов Ильгиз Торокулович, академик НАН КР, Институт геомеханики и освоения недр НАН КР, г.Бишкек
53. Казакбаева Гульнар Орозмамбетовна, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геомеханики и освоения недр НАН КР, г. Бишкек
54. Абдибаитов Шарабидин Аширалиевич, кандидат технических наук, доцент, Институт горного дела и горных технологий им акад. У. Асаналиева КГТУ ИМ. И.Раззакова, г.Бишкек
55. Молдобеков Болот Дуйшеналиевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, г.Бишкек, e-mail: b.moldobekov@caiag.kg
56. Орунбаев Сагынбек Жолчуевич, магистр наук, ведущий научный

сотрудник, Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, г.Бишкек, e-mail: s.orunbaev@caiag.kg

57. Усупаев Шейшеналы Эшманбетович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, г. Бишкек, e-mail: sh.usupaev@caiag.kg
58. Батугин Андриан Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Безопасность и экология горного производства», Горный институт НИТУ МИСиС, г. Москва, e-mail: as-bat@mail.ru
59. Омуркулов Турсунбек Ахметович, аспирант Иссык-кульского государственного университета им Тыныстанова, г. Каракол, e-mail: Ota_54@inbox.ru
60. Туркбаев Пазылбек Борубаевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Институт горного дела и горных технологий им акад. У. Асаналиева КГТУ ИМ. И.Раззакова, г.Бишкек, e-mail: turkbaev63@mail.ru
61. Жантаев Жумабек Шабденамович, доктор физико-математических наук, Академик КНАЕН, член-корреспондент IAA 2013, директор, ДТОО Институт ионосферы Национальный центр космических исследований и технологий (АО НЦКИТ), г. Алматы, e-mail: admion1@mail.ru
62. Виляев Андрей Викторович, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, ДТОО Институт ионосферы Национальный центр космических исследований и технологий (АО НЦКИТ), г. Алматы, e-mail: vilayev@gmail.com
63. Стихарный Александр Петрович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, ДТОО Институт ионосферы Национальный центр космических исследований и технологий (АО НЦКИТ) г. Алматы, e-mail: admion1@mail.ru
64. Закиров Мираббас Мирсаатович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт сейсмологии АН Узбекистана, г. Ташкент, e-mail: mzakirov1957@mail.ru
65. Айтеков Махмуд-Паша Багавович, научный сотрудник, Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, ведущий научный сотрудник, Институт геологии Дагестанского научного центра РАН, г. Махачкала, e-mail: m.aytekov37@mail.ru
66. Едигенов Михаил Беккужиевич, кандидат геолого-минералогических наук, директор ТОО «НПФ ГЕОЭОКС», член-

корреспондент МАМР, e-mail: edigenov@mail.ru; geoecos@mail.ru

67. Дуйшеналиев Туратбек Болотбекович, доктор физико-математических наук, профессор, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», г.Москва, e-mail: duishenaliev@mail.ru
68. Мекенбаев Бактыбек Тойматович, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой, Международный университет инновационных технологий, г.Бишкек, e-mail: mekenbt@mail.ru
69. Ордобаев Бейшенбек Сыдыкбекович, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б.Ельцина, г.Бишкек, e-mail: ordobaev@mail.ru
70. Буртный Петр Алексеевич, научный сотрудник, Институт геофизики им. С.И.Субботина НАН Украины, г.Киев, e-mail: korchin@igph.kiev.ua
71. Карнаухова Елена Евгеньевна, кандидат геологических наук, старший научный сотрудник, Институт геофизики им. С.И.Субботина НАН Украины, г.Киев, e-mail: korchin@igph.kiev.ua
72. Липин Яков Иванович, канд.техн.наук, старший научный сотрудник, Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, e-mail: stress.igd@mail.ru
73. Криницын Роман Владимирович, заведующий лабораторией Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, e-mail: roman_krinicyn@mail.ru
74. Умурзаков Рахимжан Абдуразакович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Ташкентский государственный технический университет, г.Ташкент, e-mail: umrah@mail.ru
75. Баймахан Рысбек Баймаханұлы, доктор технических наук, профессор, Институт механики и машиноведения КН МОН РК, г. Алматы, e-mail: brysbek@yandex.ru
76. Баймахан Айгерим Рысбеккызы, доктор PhD, преподаватель кафедры Информатики, Атырауский государственный университет, г. Атырау, e-mail: baimahan-aigerim@mail.ru
77. Молдакунова Н.К., старший преподаватель, Каракольский государственный университет, г. Каракол, e-mail: nura_20@mail.ru

Требования по оформлению статей для публикации в журнале «Современные проблемы механики»

1. Статья представляется на бумажном носителе и в электронном виде. Название файла должно соответствовать фамилии первого автора. Бумажная копия должна быть подписана всеми авторами.
2. Электронный вариант статьи выполняется в текстовом редакторе Microsoft Word 2003, 2007, 2010. Формат А4 (книжный). Поля: все по 20мм. Межстрочный интервал – одинарный. Шрифт Arial. Размер кегля (символов) – 14 пт. Рекомендуемый объем статьи 4-10 страниц.
3. Публикуемая в журнале статья должна состоять из следующих последовательно расположенных элементов:
   - шифр УДК – слева, обычный шрифт;
   - заголовок (название) статьи – по центру, шрифт полужирный, буквы – прописные (на русском, кыргызском и английском языках);
   - инициалы автора(ов) и фамилия(и) – по центру, полужирный шрифт (на русском, кыргызском и английском языках);
   - место работы – по центру, обычный шрифт (на русском, на кыргызском и на англ яз);
   - аннотация (на кыргызском, русском и английском языках) до 6 строк и ключевые слова (5-10 слов);
   - текст статьи. Рисунки (графики) и таблицы должны располагаться по тесту после ссылки на него. Сокращения и условные обозначения допускаются только принятые в международной системе единиц сокращения мер, физических, химических и математических величин, терминов и т.п. Набор формул осуществляется в тексте только в редакторе Math Type.
   - список литературы. Список цитируемой литературы приводится в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003 Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. В списке источники располагаются в порядке их упоминания в статье. Отсылки в тексте статьи заключают в квадратные скобки, например: [5]. Элементы статьи отделяются друг от друга одной пустой строкой.

На отдельной странице предоставляются сведения об авторе (ах), которые содержат данные:

-фамилия, имя, отчество полностью;
-ученая степень, ученое звание;

-место адрес работы, занимаемая должность;
-контактный телефон (рабочий, домашний, сотовый), e-mail.

4. Статья должна иметь четкие структурные части: введение (вводная часть, постановка проблемы), методика решения (исследования) проблемы, результаты исследований, выводы (заключительная часть) и список литературы.
5. Рекомендуется дать ссылки в разделе «Литература» на статьи, выпущенные в предыдущих номерах «Журнала «Современные проблемы механики сплошных сред»;
6. Не рекомендуется в одной статье дать подстраничную ссылку и общую послетекстовую ссылку, оптимально последнее.
7. Не рекомендуется в одной статье большое количество авторов (5-7 и более). Оптимально один автор или 3 автора в одной статье.
8. Не рекомендуется текст статьи с объемом менее 5 стр., такие статьи не будут считаться статьями и при размещении на сайт НЭБ будут относиться к сообщениям.
9. Проверить статью на антиплагиат. https://text.ru/antiplagiat.

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
1.	Г.Н. Копылова ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ: ПРИМЕРЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА	6
2.	К.Т. Тажибаев, Д.К. Тажибаев НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СПОСОБА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И УТИЛИЗАЦИИ ЯДЕРНЫХ ЗАРЯДОВ	16
3.	О.А.Хачай, О.Ю.Хачай ТЕОРИЯ КАТАСТРОФ ОДНА ИЗ БАЗОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКИХ ОТКЛИКОВ ГОРНОГО МАССИВА НА ИСКУССТВЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ	36
4.	О.А.Хачай, А.Ю.Хачай АКУСТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СЛОИСТО-БЛОКОВЫХ УПРУГИХ СРЕД С ИЕРАРХИЧЕСКИМИ СОСТАВНЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ	44
5.	Н.В.Шаров ПРИРОДА СЕЙСМИЧЕСКИХ ГРАНИЦ В КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ КОРЕ С УЧЕТОМ МАТЕРИАЛОВ СВЕРХГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ	51
6.	М.Д. Коваленко, И.В. Меньшова, А.П. Кержаев О НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ ТЕОРИИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ	60
7.	Ю.Г. Астраханцев, Е.А. Баженова, Н.А. Белоглазова МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ С КОМПЛЕКСНЫМ СКВАЖИННЫМ ПРИБОРОМ МЭШ-42	73
8.	А.Е. Балек, А.А. Панжин МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОРОДНОМ МАССИВЕ ДОНСКИХ ХРОМИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ: УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ БЛОЧНОСТИ	83
9.	А.Д. Сашурин, А.А. Панжин РОЛЬ ГЕОМЕХАНИКИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОГО И ЭФФЕКТИВНОГО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ	92
10	А.В. Ловчиков ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРАКТИКИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГОРНЫХ УДАРОВ В РУДНИКАХ РОССИИ	102
11	А.В. Евсеев, В.А. Асанов, П.Г. Бутырин РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ НА КАЛИЙНЫХ РУДНИКАХ	112
12	А.М. Корженков, С.В. Абдиева, Е.А. Рогожин, А.А. Сорокин СИЛЬНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ СОБЫТИЕ ПОЗДНЕГО СРЕДНЕВЕКОВЬЯ НА ЮГО-ЗАПАДЕ ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ, КЫРГЫЗСТАН	118
13	А.М. Корженков, А.Н. Овсюченко, А.С. Ларьков СЕЙСМИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО ПАМЯТНИКА НЕАПОЛЬ - СКИФСКИЙ, КРЫМ	128
14	Салихов Н.М., Пак Г.Д. ИОНОСФЕРНЫЕ АНОМАЛИИ И ВАРИАЦИИ ПОТОКА ГАММА-КВАНТОВ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ НАКАНУНЕ И ВО ВРЕМЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2015Г М5.1 ВБЛИЗИ Г.АЛМАТЫ	136
15	Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мирзаев М.А. ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА ПО КОМПЛЕКСУ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА	146
16	Артиков Т.У., Атабеков И.У., Ибрагимова Т.Л. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ УЗБЕКИСТАНА ПОСЛЕ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В БЛИЗЛЕЖАЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ	158
17	Рычков Б.А., Комарцов Н.М., Кулагина М.А. ДЕФОРМАЦИЯ МРАМОРА	172
18	Рычков Б.А., Степанова Ю.Ю. ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕСЧАНИКА	179
19	Е.С. Горбатов, А.А. Сорокин СИЛЬНЫЕ ГОЛОЦЕНОВЫЕ ПАЛЕОЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ КАРЕЛЬСКОГО БЕРЕГА БЕЛОГО МОРЯ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ИХ СЛЕДОВ В РЕЛЬЕФЕ	186

20	А.Г.Заманова ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ И СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИТОСФЕРЫ ЮЖНО-КАСПИЙСКОЙ ПЛИТЫ	196
21	Абдылдаев Э.К., Молдошев Р.А. НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА С УЧЕТОМ ЗАПРЕДЕЛЬНОЙ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ПОРОД	201
22	Садыгова Гюнель Рафаэль кызы ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА	210
23	Р.К. Умурзаков ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ УЗБЕКИСТАНА	222
24	Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю. ЗОНА ВЛИЯНИЯ ГИДРОГЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДВЕСТНИКА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ (CO_2)	225
25	Н.С. Адигамов, Я.И. Рудаев, М.А. Мамадалиева О МОДЕЛИРОВАНИИ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД	232
26	В.А. Корчин ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОБАРИЧЕСКИХ УПРУГО-ПЛОТНОСТНЫХ АНОМАЛИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ СЕЙСМО-ТЕКТОНИЧЕСКИ АКТИВНЫХ РЕГИОНОВ	244
27	Р.Н. Ялымов, А.К. Бейшеев ОЦЕНКА УДАРООПАСНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЖЕРУЙ	255
28	М.С.Акматалиева, Д.К. Тажибаев ОБОСНОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ	263
29	Айтматов И.Т., Тажибаев К.Т., Казакбаева Г.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ МОДЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦАХ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ПРОЦЕССЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ	271
30	Ш.А.Абдибаитов МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОГНОЗА СДВИЖЕНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПОД ВЛИЯНИЕМ ПОДЗЕМНЫХ РАЗРАБОТОК	280
31	Б.Д. Молдобеков, С.Ж. Орунбаев, Ш.Э. Усупаев, Г. Векслер НОВЫЕ V_S 30 КАРТЫ И ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СЕЙСМОСТОЙКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И СНИЖЕНИЯ ГЕОРИСКОВ ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В КЫРГЫЗСТАНЕ	286
32	Ш.Э. Усупаев О ЕДИНОЙ ТЕОРИИ НИГ ПОЛЯ ПАЛЕО-ПРОЧНОСТИ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ И ЗЕМЛИ	299
33	А. С. Батугин АНАЛИЗ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ УДАРОВ	315
34	К.Т. Тажибаев, Т.А. Омуркулов МЕХАНИЗМ ГЕНЕРАЦИИ ГЛОБАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЗЕМЛИ	325
35	П.Б. Туркбаев ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГО-ГЕОНОМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТИПИЗАЦИИ ГЕОРИСКОВ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КЫРГЫЗСТАНА	337
36	Ж.Ш. Жантаев, А.В. Виляев, А.П.Стихарный ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ	349
37	М.М. Закиров ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГЕЛИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ (на примере южного Тянь-Шаня и Памира)	356
38	М-П.Б. Айтеков КАРТА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГО-ГЕОНОМИЧЕСКОЙ ТИПИЗАЦИИ ГЕОРИСКОВ ТРАНСФОРМИРУЮЩИХ КРОВЛЮ ЛИТОСФЕРЫ ДАГЕСТАНА	361
39	М.Б. Едигенов ИНЖЕНЕРНО-РУДНИЧНО-ГЕОЛОГО-ГЕОНОМИЧЕСКИЕ КАРТЫ И МОДЕЛИ ТИПИЗАЦИИ ГЕОРИСКОВ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ РУДНИКОВ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА	372
40	Дуйшеналиев Т.Б., Мекенбаев Б.Т., Ордобаев Б.С. УРАВНЕНИЕ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПИСАНИЯ ТЕОРИИ ПРОЧНОСТИ МОРА И ОГИБАЮЩИЕ ЛИНИИ КРУГОВ НАПРЯЖЕНИЙ	385
41	В.А. Корчин, П.А. Буртный, Е.Е. Карнаухова ЗОНЫ ТЕРМОБАРИЧЕСКОГО РАЗУПЛОТНЕНИЯ ПОРОД ЗЕМНОЙ КОРЫ – ЕСТЕСТВЕННЫЕ СПУТНИКИ СЕЙСМО-ТЕКТОНИЧЕСКИ АКТИВНЫХ РЕГИОНОВ	399
42	Я.И.Липин, Р.В.Криницын АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПРОГНОЗЕ УДАРООПАСНОСТИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ	410

43	Р.А.Умурзаков МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ТЕКТОДИНАМИКИ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ДАННЫМ ПОЛЕВЫХ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ	419
44	Р.Б. Баймахан, А.Р. Баймахан, Н.К. Молдакунова К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРИВЕДЕННЫХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ОПОЛЗНЕВОГО СКЛОНА КОКТОБЕ ГОРОДА АЛМАТЫ	431
44	СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	439
45	ТРЕБОВАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ"	446
46	СОДЕРЖАНИЕ (на русском, английском языках)	448
		457

CONTENTS

1	G.N. Kopylova HYDROGEODYNAMIC PRECURSORS OF STRONG EARTHQUAKES IN KAMCHATKA: EXAMPLES AND USE FOR THE SEISMIC FORECAST	6
2	K.T.Tazhibaev, D.K.Tazhibaev SCIENTIFIC BASES OF THE METHOD OF THE PREVENTION OF TECTONIC EARTHQUAKES AND SALVAGING OF NUCLEAR CHARGES	16
3	O.Hachay, O.Khachay DISASTER THEORY ONE OF THE BASIC COMPONENTS OF THE ANALYSIS OF SEISMIC RESPONSES OF THE MASSIF TO ARTIFICIAL EFFECTS	36
4	O.Hachay, A.Khachay ACOUSTIC MONITORING OF LAYERED BLOCK ELASTIC MEDIA WITH HIERARCHICAL COMPOSITE PHYSICAL AND MECHANICAL INCLUSIONS	44
5	N.V. Sharov THE ORIGIN OF SEISMIC BOUNDARIES IN THE CRYSTALLINE CRUST FROM SUPERDEEP DRILLING RECORD	51
6	M.D.Kovalenko, I.V.Menshova, A.P.Kerzhaev ABOUT SOME PHYSICAL ASPECTS OF THE THEORY OF THE RESIDUAL STRESSES	60
7	Y. G. Astrakhantsev, E.A. Bazhenova, N.A. Beloglazova MONITORING OF THE GEOPHYSICAL FIELDS DYNAMICS WITH COMBINED DOWNHOLE TOOL МЭШ-42	73
8	A. E. Balek, A. A. Panzhin MONITORING OF DEFORMATION PROCESSES IN ROCK MASS OF DONSKOY CHROMITE DEPOSITS: ACCOUNTING FOR THE INFLUENCE OF BLOCKINESS	83
9	A. D. Sashourin, A. A. Panzhin THE ROLE OF GEOMECHANICS IN ENSURING A SAFE AND EFFECTIVE MINING	93
10	A.V. Lovchikov TRENDS OF DEVELOPMENT OF EXPERIENCE IN PREVENTION OF ROCKBURSTS IN THE RUSSIAN MINES	102

11	A.V. Evseev, V.A. Asanov, P.G. Butyrin DEVELOPMENT OF THE METHOD OF REMOTE CONTROL OF THE STABILITY OF INTER CHAMBER PILLARS ON POTASSIUM MINE	112
12	A.M. Korzhenkov, S.V. Abdieva, E.A. Rogozhin, A.A. Sorokin LATE MEDIEVAL STRONG SEISMIC EVENT IN SOUTH-WEST OF THE ISSYK-KUL DEPRESSION, KYRGYZSTAN	118
13	A.M. Korzhenkov, A.N. Ovsyuchenko, A.S. Lar'kov SEISMIC DEFORMATIONS IN BUILDING CONSTRUCTIONS OF SCYTHIAN - NAPLES ARCHEOLOGICAL MONUMENT, CRIMEA	128
14	Salikhov N.M., Pak G.D. IONOSPHERIC ANOMALIES AND VARIATIONS OF BACKGROUND GAMMA RAY PRIOR TO AND AT THE TIME OF THE M5.1 EARTHQUAKE 15 MARCH 2015 NEAR ALMATY	136
15	Artikov T.U, Ibragimov R.S, Ibragimova T.L, Mirzaev M.A LONG-TERM FORECAST OF STRONG EARTHQUAKE INTHE UZBEKISTAN TERRITORY ON THE COMPLEX OF PROGNOSTIC PARAMETERS OF SEISMIC REGIME	146
16	Artikov T.U., Atabekov I.U., Ibragimova TL MODELING OF SEISMIC ACTIVATION OF THE UZBEKISTAN'S EARTH CRUST AFTER STRONG EARTHQUAKES IN THE CLOSER TERRITORIES	158
17	Rychkov B.A., Komartsov N.M., Kulagina M.A. DEFORMATION OF MARBLE	172
18	Rychkov B.A., Stepanova Yu.Yu. EFFECT OF HYDROSTATIC PRESSURE ON STRESS-STRAIN STATE OF SANDSTONE	179
19	E.S. Gorbatov, A.A. Sorokin STRONG GOLOCENE PALEOEARTHQUAKES OF THE KARELIAN COAST OF THE WHITE SEA AND THE PECULIARITIES OF THE IMPLEMENTATION OF THEIR TRACES IN THE RELIEF	186
20	Zamanova Aynur Hummet DEEP STRUCTURE AND MODERN GEODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE LITHOSPHERE OF THE SOUTH CASPIAN PLATE	196
21	Abdyldaev E.K., Moldoshev R. A. STRESSED STATE OF ROCK FILE TAKING INTO ACCOUNT OTHER-WORDLY DEFORMABILITY OF ROCKS	201
22	Sadigova Gunel Rafael GEODYNAMIC PECULIARITIES OF THE TERRITORY OF SOUTH- EASTERN CAUCASUS	210

23	R.K.Umurzakov EATURES OF CHANGE OF MOLECULAR HYDROGEN IN UNDERGROUND WATERS OF UZBEKISTAN	222
24	Jusupov S.S., Shin L.J. REGION OF INFLUENCE OF THE HYDROGEOSEJSMOLOGICHESKY HARBINGER OF EARTHQUAKES (CO2)	225
25	N.S. Adigamov, Ya.I. Rudaev, M.A. Mamadalieva ON MODELING OF DEFORMATION BEHAVIOR OF ROCKS	232
26	Valery Korchin FEATURES OF THERMOBARIC ELASTIC-DENSITY ANOMALIES OF THE EARTH CRUST OF SEISMO-TECTONIC ACTIVE REGIONS	244
27	Yalymov R.N., Beysheev A.K. ESTIMATION OF BURST DANGER OF THE JERUY DEPOSIT ROCKS	255
28	Akmatalieva M. S., Tazhibaev D. K. SUBSTANTIATION OF ULTRASONIC METHOD FOR DEFINITION OF RESIDUAL STRESSES IN ROCKS	263
29	I.T Aytmatov, K. T. Tazhibaev, G.O. Kazakbaeva RESEARCH OF FIELDS OF RESIDUAL STRESSES IN OPTICALLY ACTIVE MODELLING SAMPLES AND THEIR INFLUENCES ON DEFORMING AND DESTRUCTION PROCESSES	271
30	Abdibaitov Sh.A. METHODS OF RESEARCH AND FORECAST OF SHEARINGS OF THE FILE OF ROCKS UNDER THE INFLUENCE OF UNDERGROUND MININGS	280
31	Moldobekov B., Orunbaev S., Usupaev Sh., Vexler H. NEW V_S30 MAPS AND ENGINEERING SOLUTIONS FOR EARTHQUAKE-RESISTANT CONSTRUCTION AND REDUCTION OF GEORISKS FROM EARTHQUAKES IN KYRGYZSTAN	286
32	Sh.E. Usupaev ABOUT A UNIFIED THEORY OF NEG FIELD OF PALEO-STRENGTH OF CELESTIAL BODIES AND THE EARTH	299
33	A. S. Batugin ANALISIS OF TECTONOPHYSICAL CONDITIONS OF TECTONIC ROCK BURSTS	315
34	K.T. Tazhibaev, T.A. Omurkulov THE MECHANISM OF GENERATION OF GLOBAL MAGNETIC AND ELECTRIC FIELDS OF THE EARTH	325
35	P.B. Turkbaev ENGINEERING GEOLOGICAL AND GEONOMICAL	337

	CONDITIONS FOR THE TYPIFICATION OF GEORISK FOR COAL DEPOSITS IN KYRGYZSTAN	
36	Zh.Sh. Zhantayev, A.V. Vilayev, A.P. Stykharny APPLICATION OF GEODYNAMIC ZONING AT ESTIMATION OF SEISMIC DANGERS	349
37	M.M. Zakirov FACTORS INFLUENCING THE FORMATION AND DISTRIBUTION OF HELIUM CONTENT IN GROUNDWATER OF SOUTHERN TIEN SHAN AND THE PAMIRS	356
38	M-PB. Aitekov MAP OF ENGINEERING-GEOLOGICAL-GEONOMIC TYPIFICATION OF GEOGRAPHICS TRANSFORMING THE ROOF OF THE LITHOSPHERE OF DAGESTAN	361
39	M.B. Edigenov ENGINEERING - MINE GEOLOGICAL- GEONOMICAL MAPS AND MODELS OF TYPING GEORISK FROM THE IMPACT OF MINES IN NORTHERN KAZAKHSTAN	372
40	Duishenaliev T.B., Mekenbaev B.T., Ordobayev B.S. EQUATION FOR QUANTITATIVE DESCRIPTION OF THE MOHR THEORY OF STRENGTH AND ENVELOPE LINES OF CIRCLES OF STRESSES	385
41	Valery Korchin, Petro Burtnyi, Elena Karnaukhova DECOMPACTION THERMOBARIC ZONES OF THE EARTH'S CRUST ARE NATURAL SATELLITES OF SEISMO-TECTONIC ACTIVE REGIONS	399
42	Ya.I.Lipin R.V.Krinitsyn TOPICAL ISSUES OF STRESS ESTIMATION UNDER THE FORECAST OF THE SHOCK HAZARD AT THE PRESENT STAGE	410
43	R.A.Umurzakov METHOD AND RESULTS OF STUDYING OF THE MODERN TECTODYNAMIC OF THE ROCK MASS ON THE BASIS OF TECTONOPHYSICAL OBSERVATIONS	419
44	R. B. Baimakhan, A. R. Baimakhan, N. M. Moldakunova TO THE DEFINITION OF THE GIVEN PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SOILS OF LANDSLIDE SLOPE OF KOKTOBE OF CITY ALMATY	431
45	INFORMATION ABOUT AUTHORS	439
46	REQUIREMENTS FOR PAPERS FOR PUBLICATION IN THE JOURNAL "MODERN PROBLEMS OF MECHANICS"	446
47	CONTENTS (in russian, english languages)	448
		457

Подписано к печати 17.08.18 г.
Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Объем 28,0 п. л.
Тираж 200 экз.

Кыргызский государственный университет строительства,
транспорта и архитектуры им. Н. Исанова

Учебно-издательский центр «Авангард»
720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34 б

ISSN 1694-606