

П-167/2

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК
СССР

4

1958

НОВОСИБИРСКОЕ КНИЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИКА

- А. С. Оленин, П. Н. Ефимов. Торфяные ресурсы Западной Сибири и перспективы их использования 3

ГЕОЛОГИЯ

- Л. Н. Зведер. Некоторые особенности кимберлитовых проявлений на севере Сибирской платформы 13
 Н. А. Флоренсов. К палеогеографии континентального мезозоя на юге Восточной Сибири 19
 И. В. Дербикоз, Е. И. Бенько. Схема тектогенеза мезо-кайнозоя Западно-Сибирской низменности. 29
 И. В. Белов. Лавы Джидинских вулканов. 33
 Г. А. Казекина. Аутигенные минералы титана в угленосных отложениях Западного Забайкалья (Тугнуйская депрессия). 45

ХИМИЯ

- Т. В. Заболоцкий. Влияние твердой фазы на окисление азота в высокочастотном разряде. 51
 Н. Л. Васильева. Применение органических реактивов в аналитической химии. Определение тантала с родамином Б в этилацетатных растворах 56
 И. Е. Быков, Е. С. Белинская. Восстановление четырехвалентного теллура на ртути в растворах Al_2O_3 , SiO_2 62
 Е. И. Маслова. 67

- Б. В. Войцеховской. 74
 Н. А. Яворский. 81
 В. В. Каменский. 94
 Ф. Э. Ара. Неживания. 100
 В. М. Самочкин. 110

- Б. П. Колесников. 113
 А. С. Рожков. 125
 Н. Г. В. 134

- XII отчет. 143

- Ценный фонд. 145

ИЗВЕСТИЯ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

4

НОВОСИБИРСКОЕ
КНИЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
1958

А. С. ОЛЕНИН, П. Н. ЕФИМОВ

ТОРФЯНЫЕ РЕСУРСЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В настоящее время в нашей стране ежегодно добывается около 55 млн. т торфа. Применение его как в промышленности, так и в сельском хозяйстве непрерывно возрастает. Ведущим способом добычи стал высокомеханизированный фрезерный, продукция которого — крошкообразный торф — наиболее удобна для использования.

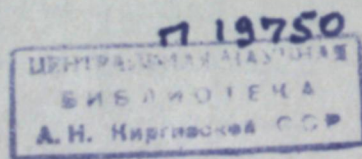
Решениями XX съезда КПСС в шестой пятилетке намечено увеличить добычу торфа на 44%, в том числе фрезерного на 73%, закончить работы по комплексной механизации фрезерного способа, а также по механизации выемки, стилки и погрузки кускового торфа, транспортных, болотноподготовительных и вспомогательных работ. В связи с этим предусмотрено увеличить выпуск оборудования для механизации торфяной промышленности не менее чем в два раза.

Непрерывно расширяется территория добычи торфа. Если вначале торфяная промышленность развивалась только в центральных районах страны, то в последующие годы она распространилась на районы Северо-Запада, Прибалтики, Белоруссии, Урала и достигла теперь юго-западной части Западной Сибири.

Западно-Сибирская низменность является областью максимальной заторфованности на территории СССР. Здесь сосредоточено более 50% общесоюзных запасов торфа. Такие скопления крупных месторождений торфа обусловлены благоприятным для них характером залегания четвертичных отложений, понижением в рельефе коренных пород и постоянным притоком грунтовых вод.

Для уточнения перспектив развития торфодобычи в Западной Сибири Главторффонд РСФСР провел значительные работы по выявлению и разведке торфяных месторождений в этом районе, применив новую, более совершенную методику. В основу ее было положено сочетание анализа современных крупномасштабных картографических материалов и материалов аэрофотосъемки с производством наземных зондировочных работ и аэровизуальных наблюдений. Это позволило не только получить обзорную характеристику общего размещения торфяных месторождений Западной Сибири, но и дать их плановую и стратиграфическую оценку, произвести нивелирование важнейших ходов и получить геоморфологические данные о торфяных массивах, определить их положение по отношению к водоприемникам, провести анализы по нескольким тысячам образцов и выявить качественные особенности торфа.

За пять лет было выявлено и разведано свыше 2000 торфяных месторождений общей площадью более 15 млн. га. Разведаны крупнейшие массивы Западной Сибири: Васюганский — площадью около 5 млн. га, Лайминский — 500 тыс. га, Куминский — 600 тыс. га, и др., на базе которых возможно организовать добычу более 50 млн. т торфа в год, т. е. столько, сколько добывается сейчас ежегодно в целом по СССР. По ус-



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

д-р хим. наук В. Т. Быков, член-корр. Т. Ф. Горбачев (зам. главного редактора), член-корр. Н. П. Дубинин, д-р физ.-мат. наук Л. В. Киренский, д-р техн. наук К. Н. Коржавин, канд. эконом. наук В. А. Кротов, член-корр. А. В. Николаев, член-корр. И. И. Новиков, д-р геол.-мин. наук М. М. Одинцов, канд. геол.-мин. наук Г. Л. Поспелов, д-р геол.-мин. наук И. С. Рожков, акад. С. Л. Соболев (главный редактор), д-р биол. наук К. А. Соболевская, акад. А. А. Трофимук.

Адрес редакции: г. Новосибирск, ул. Минчурина, № 23.

ловиям осушения и качественной характеристике эти массивы достаточно благоприятны для эксплуатации.

Выявленный и разведанный торфяной фонд Западной Сибири по типам торфяной залежи и площади месторождений характеризуется следующими данными (табл. 1, 2).

Таблица 1

Распределение торфяных месторождений по типам залежи

Тип залежи	К-во месторождений		Площадь месторождений		Ср. глубина залежи	Объем залежи	
	объектов	%	тыс. га	%		млн. м ³	%
Верховой	896	33,6	6496	39,9	2,96	192495	46,7
Переходный	319	11,9	2622	16,1	2,02	52964	12,9
Низинный	1457	54,5	7155	44,0	2,33	166590	40,4
	2672	100,0	16273	100,0	2,43	412049	100,0

Таблица 2

Распределение торфяных месторождений по размерам площади

Группы залежей по площади, га	К-во месторождений		Площадь месторождений	
	объектов	%	тыс. га	%
От 1 до 100	1058	39,6	34,3	0,2
> 100 > 1000	947	35,5	351,4	2,2
> 1000 > 10000	503	18,8	1501,3	9,3
Свыше 10000	164	6,1	14386,0	88,3
	2672	100,0	16273,0	100,0

Приведенные в таблицах данные показывают, что размещение торфяных залежей на территории Западной Сибири очень благоприятно для их промышленного использования: чуть ли не весь торфяной фонд (88,3% по площади) состоит из крупных месторождений, превышающих 10000 га. Географическое распределение по типам залежей (44% — низинный, 39,9% — верховой и 16,1% — переходный типы) (рис. 1) также благоприятно. Особенно ценно здесь то, что в южной части этого района, наиболее перспективной для развития торфяной промышленности (расположенной ближе к промышленным центрам и железным дорогам), залегают главным образом низинные массивы. В северной же части, малонаселенной и менее перспективной для развития торфяного производства, расположены верховые массивы со слаборазложившимся торфом, малоприспособленным для использования на топливо при современных способах добычи, но представляющим интерес для сельского хозяйства.

Тип залежи и степень разложения торфа имеют исключительно важное значение для эксплуатации. Фрезерный торф дает наилучшие технико-производственные и экономические показатели на торфяниках низинного типа с хорошей степенью разложения (рис. 2).

Качественная характеристика западносибирских торфов весьма благоприятна для использования их на топливо: средняя степень разложения составляет по верховым торфяникам 28, по низинным 35%, средняя зольность — по верховым 3, по низинным 8%.

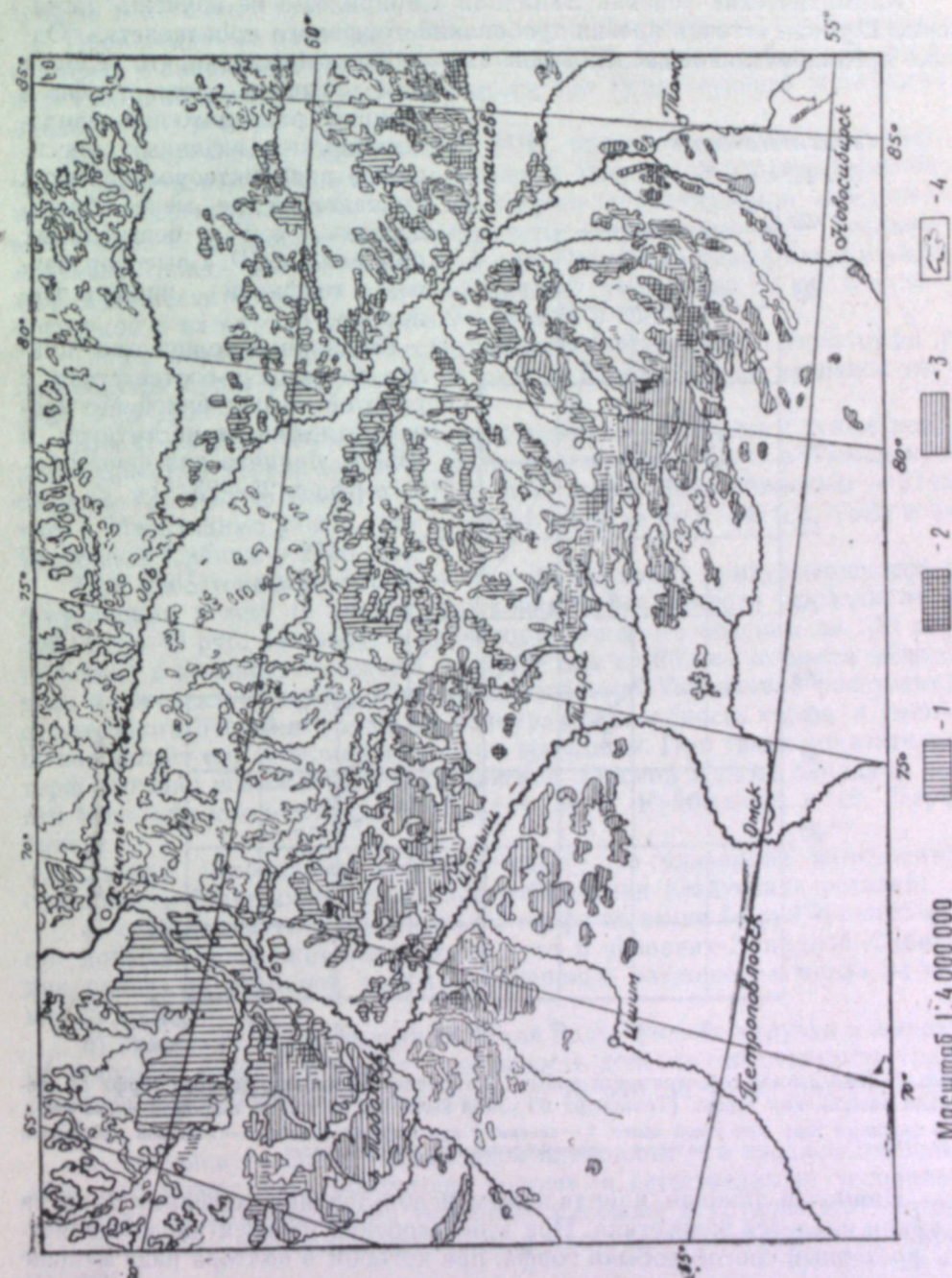


Рис. 1. Фрагмент карты центральной части Западно-Сибирской низменности — район наибольшей концентрации торфяных месторождений. 1 — верховые торфяные месторождения, 2 — переходные, 3 — низинные, 4 — неразведанные заболоченности.

Теплотехнические показатели западносибирских торфов близки к показателям торфяников центральных районов, а нередко превосходят их: теплотворная способность абсолютно сухого торфа колеблется в пределах 4500—5000 ккал/кг.

Климатические условия Западной Сибири еще не изучены достаточно глубоко с точки зрения требований торфяного производства. Однако предварительное исследование этого вопроса показало, что условия

для добычи и сушки торфа в районах расположения западносибирских низинных массивов по ряду метеорологических показателей не менее благоприятны, чем в центральных районах СССР с высокоразвитой торфяной промышленностью.

Возможное количество циклов за сезон в соответствии с работой, выполненной Московским торфяным институтом в 1957 г., принято для фрезерного торфа в 23—25.

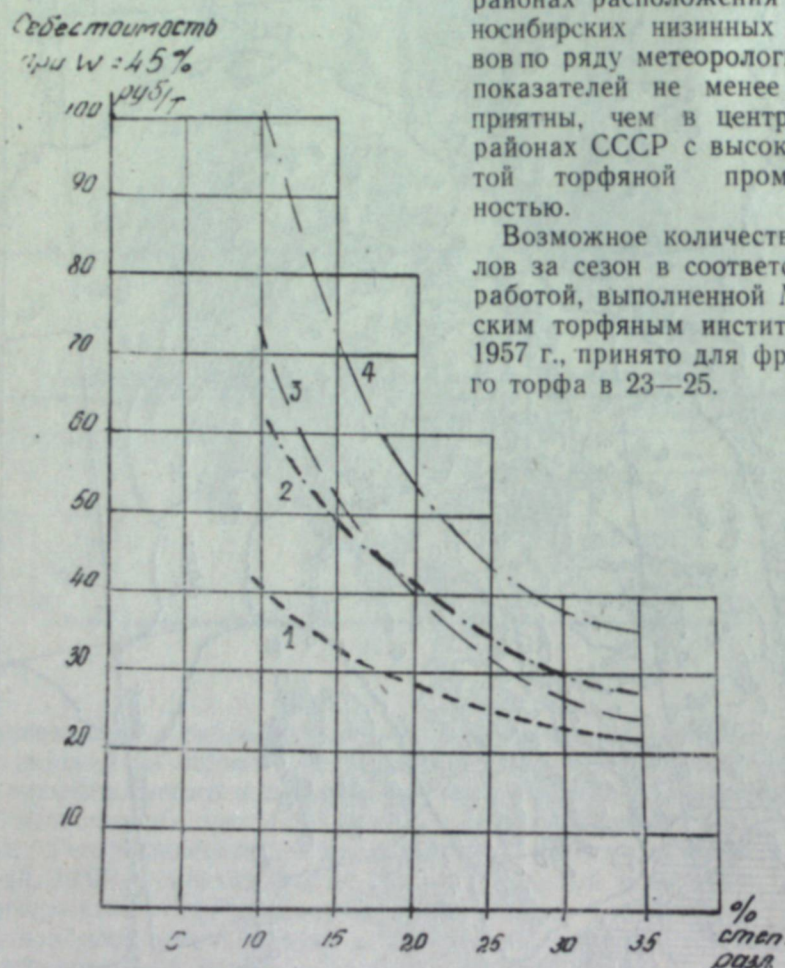


Рис. 2. Зависимость себестоимости добычи и транспортировки фрезерного торфа от степени разложения торфа. (Транспорт по узкой колее на 20 км, по широкой — 120 км). 1 — низинный торф при узкой колее, 2 — низинный при широкой колее, 3 — верховой при узкой колее, 4 — верховой торф при широкой колее.

Наиболее важным направлением использования торфяных запасов Сибири является энергетика. При этом особенно перспективным является фрезерный способ добычи торфа, при котором в полтора раза меньше удельные капитальные затраты, в 3—4 раза меньше трудовые затраты, а торф примерно в два-три раза дешевле, по сравнению с кусковым.

Использование торфа и других видов малокалорийного местного топлива (бурый уголь, сланец) более выгодно в тех районах, где недостаточно каменных углей, нефти или природного газа и где, следовательно, преимущества этих ценных видов топлива по себестоимости теряют свое значение из-за большой стоимости дальнего транспорта,

Определение экономической выгодности торфяного топлива в различных районах требует тщательного анализа, так как в отличие от других видов топлива его себестоимость подвержена, даже в одном и том же ограниченном районе, резким колебаниям, в зависимости от качества залежи и погодных условий.

Произведенные расчеты показали, что себестоимость 1 т фрезерного торфа в западносибирских условиях при 23 циклах добычи на хорошей низинной залежи может колебаться при существующей технологии около 14—16 руб.

При составлении Гипроторфом МЭС проектов добычи фрезерного торфа на Боровом и Тарманском массивах Тюменской области себестоимость 1 т торфа франко-караван на торфопредприятии была определена в 18,5 руб., а при последующем пересчете установлена для низинных массивов Западной Сибири в 14—16 руб. Перевозка торфа натуральной, 40% влажности по узкой колее на среднее расстояние 20 км, вместе с погрузкой в вагоны обходится в 9—10 руб. с тонны.

Таким образом, полная себестоимость натурального фрезторфа у потребителя будет равна около 24 руб., а в пересчете на условное топливо — 65 руб.

Для сравнения по экономичности торфяного топлива с углем возьмем кузнецкий уголь, которого было завезено в 1956 г. в Тюменскую область 736 тыс. т, Омскую — 1830 тыс. т и в Новосибирскую — 3145 тыс. т. Необходимо учесть, что в эти же области был завезен уголь и из Восточной Сибири — 2735 тыс. т.

При себестоимости торфа в 65 руб. он будет конкурентоспособен с кузнецким углем (с учетом снижения себестоимости последнего к 1960 г. до 49 руб. за тонну, а транспортировки — в среднем до 1,27 коп. за 1 ткм) в районах, отстоящих не менее чем на 850 км от места выхода угля на железную дорогу общего пользования. Увеличение расстояния от угольного бассейна улучшает конкурентоспособность торфа, а уменьшение делает его экономически менее выгодным. При таких показателях торф выгодно использовать в Тюменской, Омской и даже западной части Новосибирской области (к западу от г. Куйбышева и ст. Барабинск).

Однако необходимо иметь в виду, что указанная конкурентоспособность будет иметь место при соблюдении следующих условий:

а) себестоимость 1 т фрезерного торфа не выше 14 руб. франко-место добычи, что может быть достигнуто в условиях Западной Сибири при работе на низинной залежи со степенью разложения торфа не менее 25%;

б) транспорт торфа только по узкой колее (без перегрузки и выхода на широкую колею), что даст возможность довести себестоимость транспортировки в среднем на 20—30 км до 10 руб. за тонну натурального торфа;

в) досушка торфа до нормальной влажности — в среднем не более 45%, что может быть обеспечено хорошими естественными условиями осушения западносибирских торфяных массивов и устройством осушительной сети с глубокими канавами и частичным глубинным дренированием.

Ухудшение указанных условий выработки и транспортировки фрезерного торфа значительно снижает конкурентоспособность торфа (рис. 3).

Кусковой торф при существующих способах эксплуатации неконкурентоспособен как котельное топливо. Газификация его улучшает положение, но все-таки она менее рациональна, чем газификация фрезерного

или мелкокускового торфа, добытого послойным способом (на которую в дальнейшем и следует переходить).

Наряду с показателями, характеризующими конкурентоспособность торфа по себестоимости у потребителя, важно выяснить, какие требуются капиталовложения на добычу и на доставляющий его к потребителю транспорт (узкоколейные ж. д.).

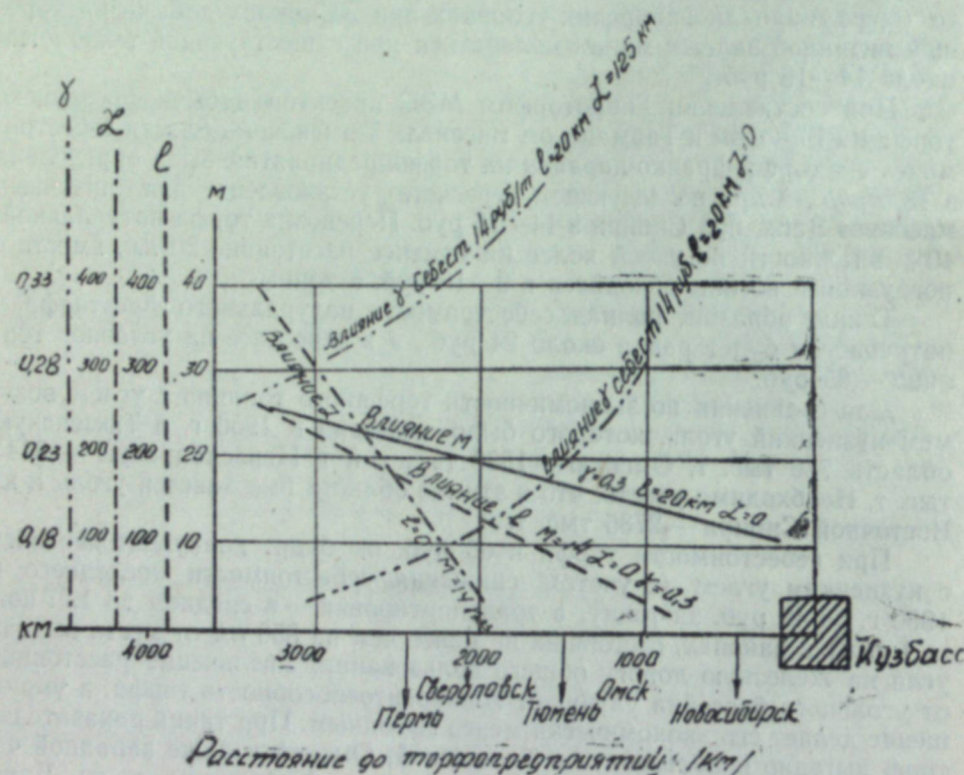


Рис. 3. Условия конкурентоспособности торфа в зависимости от удаленности угольных баз, себестоимости торфа в руб/т (M), дальности транспортировки по узкой колее в км (I), дальности транспортировки по широкой колее (L), от объемного веса торфа в г/см³ (γ).

На низинных, хорошо разложившихся торфах Западной Сибири эти капиталовложения составят 130—140 руб. на 1 т натурального торфа, или в пересчете на условное топливо — около 350 руб.

Капиталовложения эти несколько больше, чем по углю. Непосредственно на организацию подземной добычи угля в Кузбассе, по данным последних проектов, они составляют 136 руб. на тонну. К этому нужно добавить капиталовложения на развитие ж.-д. транспорта, которые в условиях перегруженных дорог Западной Сибири составят минимум 10 коп. на каждый тоннокилометр. При транспортировке угля на 1500 км дополнительные транспортные капиталовложения будут около 150 руб. на тонну, что в сумме с затратами непосредственно на добычу угля составит 286 руб. на 1 т нат. топлива, или 300 руб. на 1 т усл. топлива.

Дополнительные затраты на транспорт даже в этом случае окупятся разгрузкой сибирских магистралей, загрузка которых в 10 раз превышает среднюю по сети железных дорог СССР.

При перевозке угля на большие расстояния эта разница в капиталовложениях в пользу угля, по сравнению с торфом, сглаживается и при 2000 км сводится к нулю.

Сравнение показателей затрат рабочей силы на добычу и транспортировку торфа и угля дает вполне благоприятную картину для торфа.

В настоящее время добыча торфа при фрезерном способе на передовых, полностью механизированных предприятиях производится исключительно постоянными рабочими, без привлечения сезонных. Это имеет особенно большое значение для Западной Сибири, куда завоз сезонных рабочих затруднителен.

Потребность в рабочей силе при фрезерном способе добычи с высокой производительностью машин на хорошей низинной залежи очень невелика и составляет около 0,9 чел. на 1000 т. На погрузку и транспортировку торфа по узкой колее потребуется еще 0,7 чел. Таким образом, суммарная потребность составит 1,6 чел. на 1000 т нат. торфа, что даст общую среднегодовую производительность труда одного рабочего 625 т. На 1000 т усл. топлива потребность в рабочей силе составит 4,3 чел.

Затраты труда при использовании кузнечного угля складываются следующим образом.

На добычу угля требуется два чел. на 1000 т и на перевозку по железной дороге на 1500 км еще 2,05 чел. (исходя из среднегодовой производительности в 750000 т/км на 1 чел.). Таким образом, суммарная потребность на добычу и транспортировку 1000 т угля составляет 4,05 чел., а на 1000 т усл. топлива — около 4,3 чел., т. е. ровно столько же, сколько при торфе.

При перевозке угля дальше 1500 км соотношение сравнительных показателей затрат рабочей силы изменяется в пользу применения торфа.

Можно привести два конкретных примера возможности замены используемого в настоящее время угля на электростанциях Западной Сибири.

Барабинская ГРЭС (Новосибирская область) получает кузнечный уголь в основном марки СС. Себестоимость 1 т угля на 1960 г. намечается в 48 руб. Себестоимость транспортировки его по широкой колее на 743 км, с учетом снижения ее за счет электрификации дороги, составит 14,76 руб. Таким образом, себестоимость 1 т нат. угля составит у потребителя 62,76 руб., а 1 т усл. топлива (при калорийности угля СС 6640 ккал/кг) — 63,1 руб.

При организации торфодобычи на ближайших к г. Куйбышеву торфяных массивах, находящихся на расстоянии около 60 км, и подвозки торфа к существующей электростанции по узкой колее можно ожидать, что себестоимость 1 т воздушно-сухого фрезерного торфа у потребителя составит около 25,0 руб. (14 руб. добыча и 11 руб. погрузка и транспортировка по узкой колее). При среднем калорийном эквиваленте, принятом МЭС для фрезерного торфа равным 0,38, 1 т усл. топлива обойдется в 67,5 руб., т. е. дороже угля примерно на 5 руб. Если новую электростанцию построить непосредственно у торфяных месторождений, расходы на транспортировку сократятся примерно на 1,0 руб. на тонну торфа, что даст снижение стоимости 1 т усл. топлива на 2,5 руб., и, следовательно, в этом случае торф будет дороже привозного угля на 2,5 руб. Однако выигрыш будет заключаться в разгрузке транспортной магистрали от больших перевозок.

Еще более благоприятные результаты получаются для Тюменской электростанции.

В настоящее время Тюмень в основном получает для электростанции кузнечные угли марок ССР и ПСР. Их себестоимость, с учетом ка-

лорийности, примерно одинаковая, примем ее, как и в предыдущем примере, для 1960 г. в 48 руб. при калорийности 6640 ккал/кг.

Транспортировка угля на расстояние 1640 км будет обходиться (с учетом удешевления к 1960 г.) в 26 руб. Таким образом, при стоимости 1 т угля у потребителя в 74,0 руб. тонна усл. топлива обойдется около 78 руб. Себестоимость 1 т торфа по проектам Гипроторфа МЭС на торфопредприятиях Тарманском и Боровом близ Тюмени будет составлять 16 руб. франко-караван и 28 руб. франко-электростанция. В пересчете на условное топливо это составит 76 руб. за тонну.

Следовательно, в данном случае местное торфяное топливо будет определенно выгоднее дальнепривозного угля по всем трем основным экономическим показателям, не говоря уже о еще большей разгрузке широкой колеи от излишних перевозок.

Необходимо при этом учесть, что у торфяной промышленности имеются вполне реальные перспективы значительного снижения себестоимости фрезерного торфа в ближайшие годы за счет интенсивного осушения залежи и изменения существующей технологии с получением продукции в виде мелкого куса или гранул и применения пневмоуборки. В этой связи в перспективах развития торфяной промышленности на 1959—1965 гг. предусматривается возможность снижения себестоимости фрезерного торфа в среднем по Союзу до 12 руб. за тонну.

Наряду с использованием торфа как энергетического топлива большую роль в экономике Западной Сибири может сыграть газификация и энерго-технологическое использование торфа. Как известно, самым экономичным видом топлива является природный газ, даже если он передается по газопроводу на значительные расстояния; тем не менее в известных случаях достаточно экономичным может быть и торфяной газ, особенно при газификации фрезерного торфа и использовании газа непосредственно у мест добычи. Есть также возможности развития торфобрикетного производства в районах Западной Сибири; имеющиеся здесь участки низинной залежи, такие, как Тара-Тартасское, Пачанай, Арынцасс и др., могут дать хорошее сырье для торфобрикетных заводов.

В Западной Сибири потребность в местном бытовом топливе очень велика, и в настоящее время, например, само население г. Колпашева Томской области, во избежание дальней перевозки дров уже несколько лет подряд разрабатывает рядом лежащий торфяник. На протяжении ряда лет производилась добыча торфа на топливо в районе г. Мариинска Кемеровской области. Во время Отечественной войны торф на топливо для населения Томска добывался на близлежащем Таганском торфяном массиве и т. д. Однако все эти торфопредприятия были очень малы, с примитивными способами производства торфа, в результате чего готовая продукция была низкого качества, а себестоимость ее добычи весьма высока.

В условиях Западной Сибири торф может широко использоваться в сельскохозяйственном производстве как топливо, удобрение, подстилка.

Все почвы таежной, подтаежной зон и северной лесостепи нуждаются в органических удобрениях.

Лучше всего использовать здесь на удобрения низинные торфяники, которых в Западной Сибири очень много. Наиболее эффективными торфяными удобрениями, применяемыми в настоящее время, считаются торфонавозный, торфофекальный, торфоизвестковый и другие компосты.

Поскольку таежная, подтаежная и северная лесостепная зоны охватывают всю территорию Тюменской и Томской областей, необходимо запланировать применение органических удобрений в этих областях на всех пахотных площадях. В Омской и Новосибирской областях около

50% пахотных земель также нуждается в систематическом внесении органических удобрений. Но так как в южной части Омской и Новосибирской областей торфяные залежи почти отсутствуют, то здесь возможно лишь внесение торфяных удобрений в малых дозах в концентрированном виде, завезенных из других районов. Одним из таких удобрений является фрезерный торф, обогащенный аммиачной водой и минеральными солями.

Подробные расчеты показывают следующую потребность Западной Сибири в торфяных удобрениях с учетом использования возможного выхода навоза (табл. 3).

Таблица 3

Потребность в торфяных удобрениях различных областей Западной Сибири

Области	Средняя расчетная норма органич. удобрений на га пашни	% торфа в общем к-ве органич. удобрений	Потребность в торфяных удобрениях тыс. т
Тюменская	2,5	65	2300
Томская	2,5	60	800
Омская	1,0	45	800
Новосибирская	1,0	65	1000
ВСЕГО:			4900

На территории многих сельскохозяйственных районов Западной Сибири расположены верховые торфяные массивы, имеющие прекрасную торфоподстилочную залежь. Этот торф следует использовать в животноводстве в качестве подстилки, которая превращается потом в высококачественные торфяные удобрения.

Участники ВСХВ — совхоз имени С. М. Кирова Новгородской области, совхоз «Костиверс», колхоз «Ус-Элу» и имени И. В. Сталина Эстонской ССР все поголовье животных содержат полностью на торфяной подстилке и благодаря этому значительно повысили продуктивность животных и обеспечили всю потребность в торфяных удобрениях.

О качестве торфяной подстилки говорят хотя бы следующие данные: сфагновая, осоково-сфагновая и шейхцериево-сфагновая торфяные подстилки обладают высокой влагоемкостью и газопоглотительной способностью: 1 кг такой подстилки при влажности 30% впитывает 10—12 кг воды, т. е. в три раза больше, чем солома. Газопоглотительная способность сфагновой подстилки также в два-три раза выше соломенной.

Потребность животноводства Западной Сибири в торфяной подстилке составляет примерно 7 млн. т.

Наряду с удобрением и подстилкой колхозы и совхозы Западной Сибири в местах, не обеспеченных дровами, остро нуждаются в торфяном топливе для бытовых целей. Ориентировочно подсчитанная потребность в нем по 4 областям составляет свыше 3 млн. т.

Кроме того, около 1 млн. т может потребоваться для колхозных и межколхозных электро- и теплоэлектростанций, если считать, что 25—30% из них будут работать на торфяном топливе.

**

Возможности использования огромных торфяных ресурсов Западной Сибири на месте, особенно в районах, удаленных от угольных бассейнов

на значительные расстояния, весьма велики. Благоприятное географическое размещение месторождений, преобладание хорошо разложившихся залежей низинного типа, достаточно удовлетворительные расчетные технико-экономические показатели добычи и транспортировки торфа позволяют ставить вопрос об организации промышленной эксплуатации западносибирских торфяных месторождений передовым фрезерным способом.

Однако, рассматривая перспективы использования торфяных ресурсов в Западной Сибири, необходимо учитывать отсутствие еще практического опыта крупнопромышленной добычи торфа в этих районах. Следует также учитывать и определенное своеобразие здесь климатических условий и особенности размещения торфяных массивов в общих пониженных элементах рельефа.

Особые условия Западной Сибири, с точки зрения возможности широкого использования торфяных ресурсов, выдвигают перед научно-исследовательскими и специальными производственными организациями задачи скорейшего изучения этих условий.

В этих целях Главторффонд РСФСР намечает продолжить экспедиционные работы по выявлению торфяных месторождений и организовать в 1958 г. более углубленные рекогносцировочные разведки на наиболее перспективных массивах. Московский торфяной институт будет продолжать детальное изучение сырьевых свойств залежи, технологических условий добычи и сушки торфа и техно-экономических предпосылок к развитию торфяного производства в условиях Западной Сибири.

Сибирское отделение Академии наук СССР также должно включиться в решение этой важной народнохозяйственной задачи.

Главное управление торфяного фонда
при Совете Министров РСФСР
Московский торфяной институт.

Поступила в редакцию
25/XI 1957

Л. Н. ЗВЕДЕР

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ НА СЕВЕРЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ*

В геологическом строении исследуемого района принимают участие нижнепалеозойские карбонатные породы, интродуцированные породами трапповой формации и кимберлитами.

Нижнепалеозойский (верхний кембрий — нижний ордовик) осадочный комплекс, имеющий мощность немногим более 300 м, подразделяется автором на ряд горизонтов: битуминозный, пестроцветный, кальцитизированных доломитов, доломитизированных пятнистых и полосчатых известняков, песчано-карбонатный и доломитовый. Несмотря на своеобразие отдельных горизонтов, преобладающую роль в стратиграфическом разрезе играют доломиты, доломитизированные известняки, известковистые песчаники и алевролиты, известковистые плоскоголечные косослоистые конгломераты, известняки, мергели и облитовые известняки. Нижняя часть разреза (от битуминозного до песчано-карбонатного горизонта) фаунистически охарактеризована трилобитами *Koldinia minor* Kob., *Kuraspis off abscurus* N. Teherh, *Idahoia*, sp., *Pterocephalina sibirica* sp. (коллекция А. А. Арсеньева, М. Н. Васильевой; определение О. И. Никифоровой).

Магматические породы на исследуемой площади представлены дайками и sillами траппов (оливиновые долериты) нижне-триасового возраста и кимберлитами, условно относимыми к верхнему триасу.

Кимберлитовые тела сложены здесь различными типами кимберлитовых брекчий, описанных ранее [1—4], и лишь трубка «Удачная» состоит из брекчий и массивного кимберлита, разделяющих трубку на две половины. Наличие в западной брекчиевидной части кимберлитового тела включений массивного кимберлита первой фазы внедрения, резкий тектонический контакт между разновидностями кимберлитов свидетельствуют о том, что трубка «Удачная» как тело была сформирована в две фазы.

Массивный кимберлит базальтоидного облика трубки «Удачной» состоит из вкрапленников оливина, диопсида, пиропы, флогопита, бронзита и ильменита, включенных в вязкую карбонатно-серпентиновую массу. По химическому составу базальтоидный кимберлит (табл. 1) мало отличается от брекчиевидных, и вообще все кимберлитовые брекчий района, вне зависимости от их минералогических особенностей, по данным химических анализов, очень близки.

Породы нижнего палеозоя на исследуемой площади залегают со слабым наклоном — до 1° (среднее падение пород 18—22 мин.), образуя своеобразные платформенные структуры, детальным изучением которых мы начали заниматься с лета 1955 г.

* Фактический материал собран автором и частично геологами Амакинской экспедиции Министерства геологии и охраны недр СССР Л. А. Попугаевой, Б. М. Кротовым и В. Н. Щукиным под руководством М. М. Одинцова.

Таблица 1

Химический состав кимберлитовых брекчий и базальтоидных кимберлитов одного из кимберлитовых полей севера Сибирской платформы

Окислы	1	2	3	4	5
SiO ₂	33,34	29,48	25,84	23,88	25,20
TiO ₂	2,03	1,60	1,79	2,39	1,74
Al ₂ O ₃	4,48	3,45	4,08	1,89	1,92
Fe ₂ O ₃	7,89	4,91	5,32	4,68	5,29
Cr ₂ O ₃	0,07	0,05	0,04	0,04	0,10
FeO	3,56	2,45	1,73	2,01	2,32
MnO	0,19	0,07	0,05	0,16	0,11
CaO	1,46	10,20	15,31	18,20	15,42
MgO	32,84	28,74	24,17	23,36	26,29
Na ₂ O	0,27	0,62	0,23	0,58	0,52
K ₂ O	0,27	0,02	0,02	0,04	0,16
P ₂ O ₅	0,19	0,28	0,25	0,30	0,19
S	—	0,08	0,10	0,11	—
H ₂ O ⁺	12,9	17,28	20,16	21,84	18,72
H ₂ O ⁻	1,21	1,28	1,12	1,12	1,08
	100,43	100,51	100,21	100,60	99,06

ПРИМЕЧАНИЕ:

- 1 — средний состав кимберлита трубки «Зарница» из трех анализов по Н. Н. Сарсадских и Л. А. Попугаевой, 1955;
 2 — кимберлитовая брекчия трубки «Якутская», анализ В. С. Лебедева, ВСФАН СССР, 1957;
 3 — кимберлитовая брекчия трубки «Академическая», анализ В. С. Лебедева, ВСФАН СССР, 1957;
 4 — кимберлитовая брекчия трубки «Украинская», анализ В. С. Лебедева, ВСФАН СССР, 1957;
 5 — кимберлит базальтоидный трубки «Удачная», анализ В. С. Лебедева, ВСФАН, СССР, 1956.

Общее слабонаклонное, флексурное, куполовидное и в отдельных случаях горизонтальное залегание пород нередко осложняется брахискладками малой амплитуды (0,6—5,5 м) и небольшого размера (от 5 до 600 м по длинной оси).

Брахискладки взаимосвязаны с крупными структурами, подтверждением чего может служить брахискладка пятиметровой амплитуды, отмеченная на структурной карте (рис. 1) в 3,5 км к юго-востоку от трубки «Удачная».

Детальное тектоническое районирование кимберлитового поля позволяет выделить несколько участков, имеющих четкие отличия по характеру залегания нижнепалеозойских пород (см. рис. 1).

На фоне слабонаклонного и горизонтального залегания пород, осложненных мелкими куполами и депрессиями, в районе фиксируются две флексуры — главные структуры района.

Северная флексура, имеющая амплитуду 40 м с углом падения крыла от 27 мин. до 1° 10 мин., простирается в северо-западном направлении, а от месторождения «Зарница» меняет ориентировку на широтную; это подтверждается точками опорного горизонта, розами-диаграммами тектонической трещиноватости и ориентировкой гидросети. Южная флексура — строго северо-западной ориентировки с углом падения свыше 40 мин. и амплитудой 60—65 м.

Распределение кимберлитовых трубок и трапповых даек не однотипно. Трапповые дайки (как видно на структурной карте) своей ориентировкой подчеркивают главные структуры района, приурочиваясь к

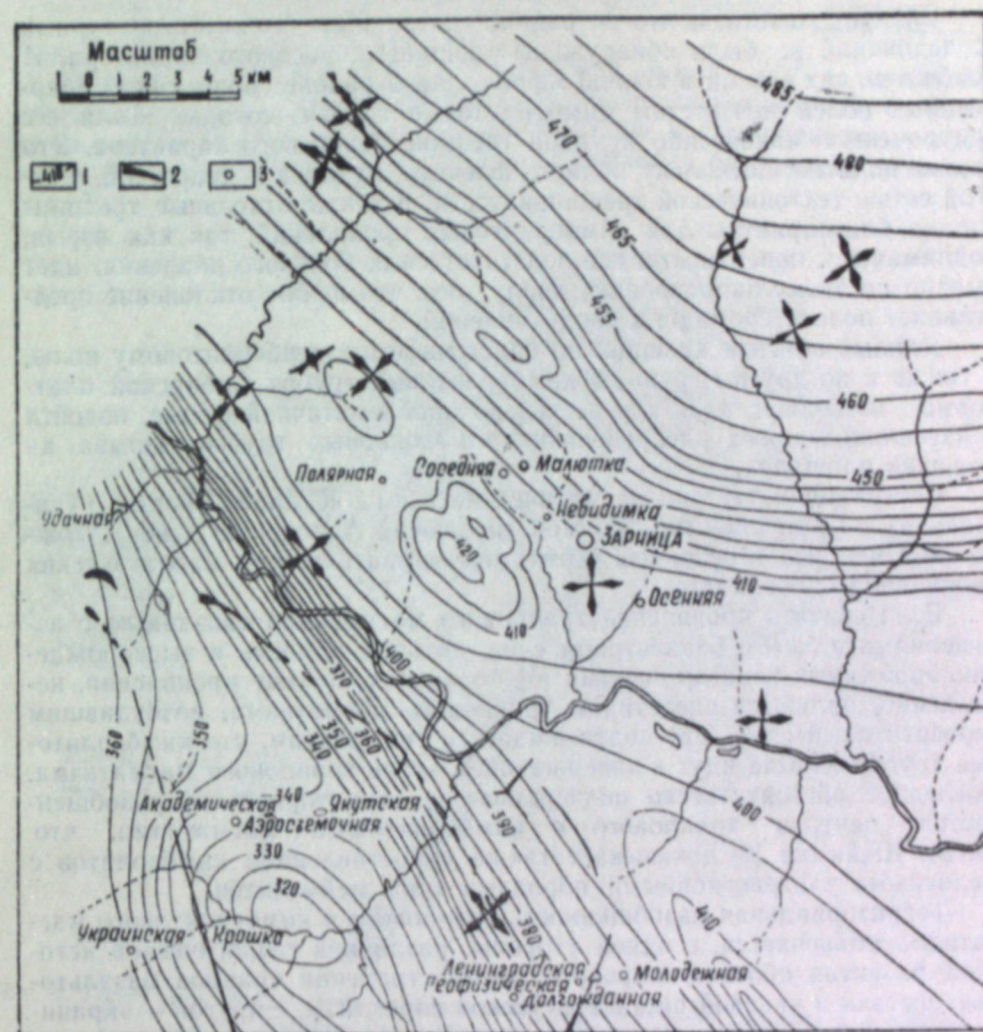


Рис. 1. Структурная карта кимберлитового поля (составил Л. Н. Зведер).

1 — стратонизогипсы подошвы песчано-карбонатного горизонта, 2 — силлы и дайки траппов, 3 — кимберлитовые тела.

разрывным трещинам основных направлений (северо-западного, северо-восточного и широтных). Последнее подтверждается значительной протяженностью трапповой дайкой север-северо-западной ориентировки (юго-западная часть планшета), приуроченной к разрывному нарушению крыла купола, которая подчеркивает именно эту крупную структуру, минуя локальную тектоническую трещиноватость смежной депрессии с малой амплитудой.

Кимберлитовые трубки в исследуемом районе, с одной стороны, фиксируются в ослабленных зонах флексур (к северной приурочены «Соседняя», «Малютка», «Невидимка», «Зарница», к южной — «Ленинградская», «Молодежная», «Долгожданная» и «Геофизическая»), с другой — создают собственно свой широтный план расположения с распределением кимберлитовых тел по линиям, развивающимся под острым углом к направлению структур осадочного покрова (линии: а) «Долгожданная» — «Молодежная» — «Геофизическая» — «Ленинградская» — «Украинская», б) «Якутская» — «Академическая» — «Азросъемочная», в) «Удачная» — «Полярная» — «Соседняя» — «Малютка» — «Дайковая»).

Следует отметить, что в районе детальных геолого-структурных исследований не были обнаружены трещины сбросового характера. И вообще до сих пор ни в южной Африке, ни в районе сибирских кимберлитовых полей неизвестны кимберлитовые трубки, которые были бы приурочены к какой-либо крупной трещине сбросового характера. Это вполне понятно: поскольку область флексур, куполов и депрессий, с густой сетью тектонической трещиноватости, а также отдельные трещины вполне благоприятны для кимберлитовых проявлений, так как взрыв, поднимаясь к поверхности, где действует сила бокового давления, идет именно по этому направлению, ввиду того, что любое отклонение представляет полосу громадных сопротивлений.

Данные об этом явлении, по описываемому кимберлитовому полю, а также и по другим группам кимберлитовых трубок Сибирской платформы позволяют, хотя и в несколько проблематичной форме, подойти к изучению вопроса распределения алмазонасных трубок взрыва на больших площадях.

Сопоставляя тектоно-магматические схемы Южной Африки (Танганьика) с Сибирской платформой (исключая Алданскую плиту), можно заметить, что в основных чертах последовательность магматических проявлений однотипна.

Если считать проявление траппового магматизма связанным с изменениями в самом базальтовом слое, которые привели к высвобождению громадных запасов энергии [5], то кимберлитовые проявления, несомненно, являются следствием траппового магматизма, возбудившим передотитовый слой. Это подтверждается тем фактом, что кимберлитовые трубки взрыва идут в завершающем этапе траппового магматизма. Последнее обстоятельство подчеркивается территориальной разобщенностью центров траппового и кимберлитового магматизма, что Ю. М. Шейнман [6] доказывает также сопоставлением кимберлитов с щелочными ультраосновными породами типа меймечитов.

Территориальная разобщенность траппового и кимберлитового магматизма объясняется, с одной стороны, различной геологической историей развития области широкого распространения траппов базальтового состава и краевой части Тунгусской синеклизы, с другой — экранирующей деятельностью мощных трапповых силлов для кимберлитовых проявлений.

Большинство кимберлитовых тел на севере Сибирской платформы выходит за краевое поле траппов. В трубках «Зарница», «Осенняя», «Невидимка» и «Малютка» не встречены обломочные включения траппов, хотя в брекчии имеется щебенка ниже- и вышележащих толщ, среди которых в смежных районах фиксируются трапповые силлы.

Большие сопротивления мощных трапповых силлов взрывным процессом, связанным с кимберлитовыми проявлениями, объясняются физико-механическими свойствами траппов, которые имеют большие сопротивления на сжатие ($2000-3500 \text{ кг/см}^2$), по сравнению с известняками ($400-1400 \text{ кг/см}^2$) и песчаниками ($500-1500 \text{ кг/см}^2$) нижнепалеозойских пород.

Прекрасным подтверждением большой физико-механической сопротивляемости траппов (в данном случае — дробимости) является материал по трубке «Ленинградская». В геологическом отношении трубка «Ленинградская» сложена внешне однообразной брекчией, в то время как геомагнитные контуры подчеркивают пестрый характер магнитной проводимости, обусловленный, с одной стороны, поведением тела на глубине, а с другой, по-видимому, различной степенью насыщенности железистыми минералами. Тем не менее, судя по прилагаемой карте

(рис. 2), с учетом детальных наблюдений зимой 1957 г. геофизика А. И. Цветкова и горных выработок, пройденных геологом А. Г. Волотовским, трапповая дайка, подходя вплотную к кимберлитовому телу, прерывается, сохраняясь внутри него отдельными разорванными участками.

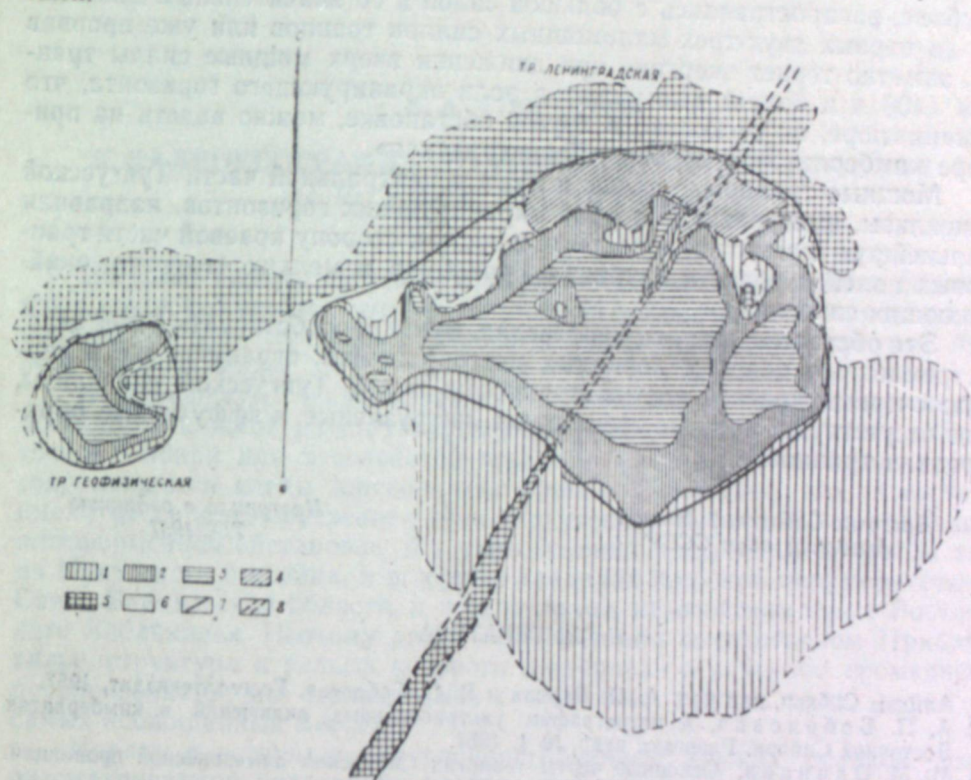


Рис. 2. Геолого-магнитная карта кимберлитовых трубок «Ленинградская» и «Геофизическая» (по данным А. И. Цветкова):
1 — от 0 до 100 Г, 2 — от +100 до +300 Г, 3 — более 300 Г, 4 — свыше -200 Г, 5 — от -100 до -200 Г, 6 — от 0 до -100 Г, 7 — предварительный контур кимберлитовых тел, 8 — примерные очертания трапповой дайки.

Детальные наблюдения при проходке канавы в трубке «Ленинградская» показали, что субвертикальная трапповая дайка мощностью 1,0—1,5 м в процессе внедрения кимберлитовой магмы была разорвана и, по-видимому, сместилась на 2 м в горизонтальной плоскости, изменив направление падения. Обломочный материал трапповой дайки в полосе разрыва сцементирован кимберлитовой магмой, и траппы в данном случае являются такими же обломочными включениями, как щебенка известняков, алевролитов, доломитов вмещающих нижнеордовикских пород. Но и в этом случае выступают физико-механические особенности траппов: в среднем щебенка траппов имеет более крупный размер и траппы не дают, как показывают наблюдения, обломочного материала мелких фракций (до микробрекчий), что характерно для нижнепалеозойских пород. Щебенка траппов, обнаруженная автором в базальтоидном кимберлите трубки «Удачная», по размеру резко превышает щебенку карбонатных пород.

Можно полагать, что вертикальное падение трапповой дайки, ее большая физико-механическая устойчивость в среде горизонтально лежащих тонкопереслаивающихся песчано-карбонатных пород (при взрыве горизонтально лежащие породы дробятся в несколько раз интен-

сивнее) создают условия сохранности для трапповой дайки, поскольку направленный взрыв идет только вверх, а боковые отклонения представляют область громадных сопротивлений.

Следовательно, есть основание считать, что взрыв, происходящий на глубине, распространяясь с большой силой и со значительным давлением до первых двух-трех маломощных силлов траппов или уже прорвавших их, заметно теряет энергию; при движении вверх мощные силлы траппов (400 м и более) выступают в роли экранирующего горизонта, что в миниатюре, но несколько в другой обстановке, можно видеть на примере кимберлитовой трубки «Ленинградская».

Мощные трапповые силлы и лавы в центральной части Тунгусской синеклизы, выступающие в роли экранирующих горизонтов, направили дальнейшую магматическую деятельность в сторону краевой части трапповых полей к области глубинных разломов и мелких структур, окаймляющих синеклизу.

Это обстоятельство, на наш взгляд, будет способствовать более целенаправленным поискам коренных месторождений, ограничит их, в первую очередь, краевой частью трапповых полей Тунгусской синеклизы, где отсутствуют мощные туфогенные, интрузивные и эффузивные образования траппов.

Восточно-Сибирский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
7/X 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. Алмазы Сибири, под ред. А. П. Букова и В. С. Соболева. Госгеолтехиздат, 1957.
2. А. П. Бобриневич, К петрографии ультраосновных включений в кимберлитах Восточной Сибири. Разведка недр, № 1, 1957.
3. М. М. Одинцов, Основные черты геологии Сибирской алмазоносной провинции. Изв. вост. филиалов АН СССР, № 1, 1957.
4. Н. Н. Сарсадских, Л. А. Попугаева, Новые данные о проявлении ультраосновного магматизма на Сибирской платформе. Разведка и охрана недр, № 5, 1955.
5. В. П. Солоненко, Излияние траппов и некоторые особенности тектоники Сибирской платформы. ДАН СССР, т. 67, № 6, 1949.
6. Ю. М. Шейнман, О положении и возрасте щелочных ультраосновных пород Сибирской платформы. Разведка недр, № 1, 1957.

Н. А. ФЛОРЕНСОВ

К ПАЛЕОГЕОГРАФИИ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО МЕЗОЗОЯ НА ЮГЕ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Широкое распространение юрских и меловых отложений в Восточной Сибири показывает, что эта территория в мезозое, несмотря на ранее пройденный путь геосинклинального развития, жила полнокровной геологической жизнью.

В течение юры осадкообразование здесь могло происходить почти повсюду; в каждой из структурных зон, какие можно выделить в Восточной Сибири для мезозойской эры, мы находим более или менее сохранившиеся следы юрского накопления. Последнее, как известно, имело место и во внутреннем поле Иркутского амфитеатра в типичной платформенной обстановке, и в своеобразных предгорных прогибах типа Иркутского бассейна, и в горных впадинах широкой периферической Саяно-Байкальской области, и в складчатом мезозойском поясе Восточного Забайкалья. Поэтому даже в современном высокогорном Прибайкалье, структура и рельеф которого претерпели в кайнозое громадные преобразования, мы сталкиваемся с остатками юрских толщ, порой в самых неожиданных местах.

Наряду с региональным распространением юрских осадков, для рассматриваемой территории должна быть отмечена значительная неравномерность, прерывистость их накопления. Прежние представления о сплошном юрском осадконакоплении (Ангарское опресненное юрское «море» А. В. Львова [1], сплошной чехол пресноводных угленосных юрских отложений И. А. Молчанова [2] и др.) теперь ушли в прошлое. Оказалось, что границы многих полей распространения юрских осадочных и вулканогенно-осадочных толщ местами весьма близки к их первичным, генетическим границам и что, следовательно, поверхность до мезозойского фундамента на всем пространстве Восточной Сибири в юрское и отчасти в меловое время в общем виде представляла чередование участков размыва и участков накопления осадков.

Другая особенность рассматриваемого этапа геологического развития Восточной Сибири заключается в разнообразии и изменчивости условий осадконакопления. Пестрота литолого-генетических типов отложений юры и мела подчеркивалась многими исследователями [3—6]. В самом деле, эти отложения в границах Восточной Сибири представляют, с одной стороны, две группы фаций — наземно-пресноводных и прибрежно-морских, а с другой — различные формационные типы: платформенный (отложения Ангаро-Вилюйского прогиба, северной части Иркутского бассейна, слагающие плоские синеклизы), переходный, или субплатформенный (осадки горных впадин Восточного Саяна, Прибайкалья и Забайкалья), и, наконец, субгеосинклинальный (морские осадки Восточно-Забайкальского юрского прогиба). Платформенная и субгеосинклинальная верхнемезозойские формации включают в себя преимущественно терригенные отложения; переходный, или субплатформен-

ный комплекс, представлен терригенными и вулканогенными образованиями, создающими более или менее тесные ассоциации.

В своем распространении верхнемезозойские отложения подчинены отчетливой зональности, выражающейся в том, что толщам сходного возраста (в рамках геологической эпохи), развитым на той или иной территории, свойственно известное единообразие литолого-фациальных признаков, отличающихся от таковых в одновозрастных толщах на соседних территориях. Границы таких зон совпадают с границами основных структурных областей, выделяемых на новейших тектонических схемах Восточной Сибири.

Следующим весьма важным обстоятельством, характеризующим внутреннюю сложность рассматриваемого этапа геологической истории Восточной Сибири, является известная суженность области распространения нижнемеловых отложений по сравнению с отложениями юрского возраста. Замечательно, что первые распространены только в Забайкалье, т. е. к юго-востоку от пояса древних байкальских разломов, причисляемых некоторыми геологами [7, 8] к типу глубинных, в то время как юрские образования, будучи развиты, как и нижнемеловые отложения, на отдельных изолированных площадях, встречаются тем не менее во всех географических областях и во всех структурных зонах Восточной Сибири, при этом, конечно, фациально изменяясь.

Ограниченность области развития осадков меловой системы, по сравнению с площадью распространения юрских отложений, необходимо, очевидно, объяснить сдвигом зон осадконакопления в конце юры и начале мелового периода к юго-востоку, ибо в Северном Китае, Приамурье, в Монголии отложения меловой системы развиты весьма широко и вместе с тем их разрез становится более полным за счет появления континентального верхнего мела. В самом общем виде это явление отражает возрастающее в восточном направлении влияние мезозойских движений по периферии Тихого океана.

Одной из труднейших проблем стратиграфии и истории накопления мезозойских отложений Восточной Сибири, как известно, является определение их точного геологического возраста и корреляция разрезов различных районов. Все, что было до сих пор достигнуто в этом отношении геологами и палеонтологами, не решает указанных вопросов радикально и однозначно. Лишь для морских отложений лейаса и доггера, развитых в юго-восточной части Забайкалья (междуречье Онона, Шилки и Аргунь) и содержащих богатую фауну, эта задача может считаться, по видимому, выполненной, равно как и задача сопоставления морской и пресноводной (алгачинской) юры и грубообломочных отложений Приаргунского поднятия. Так, по данным В. Н. Козеренко и А. Ф. Мушниковой [4], морские ниже-среднеюрские отложения Восточно-Забайкальского субгеосинклинального прогиба фациально замещаются по его южной и восточной окраинам более грубообломочными отложениями алгачинской юры, а последние таким же образом переходят в грубообломочный континентальный Приаргунский комплекс. Важно отметить, что еще В. Д. Принада отличал флору, найденную в осадках алгачинской юры, от тургинской флоры, считая первую более древней. Найденные А. Ф. Мушниковым остатки флоры в отложениях Акатуевской свиты алгачинской юры позволяют, по мнению М. Ф. Нейбург, относить эти отложения к нижней или средней юре [см. 9]. По еще более новым данным тех же авторов, среди континентальных отложений алгачинской юры обнаружены отдельные горизонты с морской фауной, причем последние хорошо сопоставляются с фауной из морских отложений соседнего геосинклинального прогиба. Что касается Приаргунского комплек-

са, то в его осадках, в свою очередь, обнаружены отпечатки пелеципод *Ferganoconcha*. Тем самым устанавливается, с одной стороны, стратиграфическая эквивалентность морской, алгачинской и приаргунской юры, а с другой — определяются стратиграфические рамки двух последних и, что очень важно, уточняется положение в разрезе юрских ферганоконов.

Значительно труднее датировка и сопоставление разрезов континентальных отложений юры и мела вне пределов распространения морской юры, т. е. на всем остальном пространстве юга Восточной Сибири. Эти отложения содержат исключительно пресноводную и наземную фауну и сравнительно однообразную мезозойскую флору, основные элементы которой существовали в Сибири начиная с рэта до конца нижнего мела и, следовательно, не могут служить целям дробного стратиграфического расчленения. Поэтому в течение последних 20 лет (период наиболее интенсивного изучения мезозойских угленосных отложений Забайкалья и Иркутского амфитеатра) геологами очень часто использовался метод сравнения как самих толщ, так и содержащихся в них фаунистических и флористических комплексов с таковыми сопредельных районов Дальнего Востока, бассейна Вилуя и Лены, Северного и Западного Китая, Монголии. Предпринимаются попытки сравнения фаун из угленосных отложений Восточной Сибири с фаунами континентальных мезозойских толщ Западной Сибири и Средней Азии, вельдских слоев Западной Европы, нижнемеловых свит Северной Америки. Новые материалы по рассматриваемому вопросу дали специальные палеонтологические исследования в Забайкалье, проведенные в последние годы Г. Г. Мартинсоном [10], но, к сожалению, они пока недостаточно увязаны с изучением самих осадочных толщ, положением последних в конкретных структурах и т. д.

Проведенное в послевоенные годы детальное изучение нефтеносных мезозойских отложений Восточно-Гобийской депрессии (Восточная Монголия) позволило составить их довольно детальный стратиграфический разрез [11]. Но попытки механического переноса стратиграфической схемы монгольского нижнего мела на континентальные, частью, несомненно, также ниже-меловые отложения Забайкалья нельзя признать вполне удачными. Мезозой Забайкалья обладает рядом черт, несвойственных мезозою Монголии (литология, угленосность, роль эффузивов и туфов, мощность, масштабы распространения и т. д.).

В последние годы некоторые исследователи стали придавать очень большое значение определениям возраста и сопоставлению отдельных частей мезозойских серий по содержащимся в них спорово-пыльцевым комплексам. Нельзя не согласиться с тем, что спорово-пыльцевой анализ является важным средством стратиграфического и палеогеографического анализа. Тем не менее его значение для указанных конкретных целей, по-видимому, все же преувеличивается, как это обычно имеет место при введении всякого нового метода научных исследований. В особенности это касается применения спорово-пыльцевого анализа к изучению отложений межгорных впадин, в ближайшем окружении которых в соответствующее время не могла не проявляться вертикальная климатическая зональность, а следовательно, и зональность в распределении растительности. Несомненно, что изучение эволюции ископаемых флор и восстановление палеогеографических условий по палинологическим данным связано в подобных случаях с особыми трудностями.*

Современная изученность данного вопроса не позволяет, на наш

* На примерах кайнозойских впадин Прибайкалья этот вопрос недавно был специально рассмотрен Н. А. Логачевым [12].

взгляд, пользоваться данными спорово-пыльцевого анализа для разграничения осадочных толщ верхнеюрского и нижнемелового возраста; такие попытки имеются в некоторых новых работах по Забайкалью, но полученные при этом выводы неубедительны.

Немаловажной, как нам кажется, является ликвидация того разрыва, который существует между установленным стратиграфическим положением осадков Иркутского бассейна (верхи лейаса — доггер) и принимаемым различными исследователями возрастом мезозойских континентальных отложений Забайкалья — от средней юры до нижнего мела, по одним авторам, от верхней юры до нижнего мела — по другим, только нижнемеловым — по третьим. Естественно поставить вопрос: насколько обоснован этот разрыв, насколько геологическое развитие внутреннего поля Иркутского амфитеатра и Забайкалья были независимы и протекали различными путями?

Теперь известно, что флоры из осадков Иркутского бассейна и из отложений алгачинской юры, а также из Приаргунского континентального комплекса хорошо сопоставимы друг с другом, а сами отложения алгачинской юры связаны непрерывным переходом с осадками морской нижне-средней юры. У исследователей нет сомнения и в том, что отложения Иркутского бассейна не могут быть моложе средней юры. Следовательно, имеются два относительно хорошо изученных разреза мезозойских отложений (Иркутский бассейн, южная часть Восточного Забайкалья), возраст которых одинаков и достаточно хорошо обоснован. Они могут служить для сравнения с разрезами осадочных континентальных толщ во впадинах остальной части его Восточной Сибири.

Важны и другие факты. Например, известно, что флора из мезозойских дислоцированных отложений, залегающих в мелких впадинах Восточного Саяна, аналогична флоре Иркутского бассейна. Это указывает на одновременность накопления осадков в названных районах и, следовательно, на то, что в пределах Восточного Саяна, бывшего в юре одной из областей питания Иркутского бассейна обломочным материалом, существовали, в свою очередь, отдельные внутригорные участки юрского осадконакопления.

Судя по новым данным, угленосные отложения Чарской и Каларской впадин относятся к средней, либо к верхней юре. Мезозойские отложения в Усть-Селенгинской впадине Н. С. Шатским [13] были предположительно отнесены к юре еще в 1933 г., а новые исследования С. М. Замараева [14] подтвердили их полное сходство с конгломерато-песчаниковой толщей южной окраины Иркутского бассейна (литология, условия залегания, метаморфизм, флора). Наконец, в составе галек байкальских, усть-селенгинских (темлюйских), гусиноозерских, удинских и других мезозойских конгломератов, либо составляющих базальные горизонты угленосной серии, либо фациально замещающих угленосные горизонты вблизи краевых разломов во впадинах Забайкалья, мы находим один и тот же комплекс эффузивов (порфиров бескварцевых и кварцевых, порфиринов, андезитов и др.). Но в Иркутском бассейне обломки этих эффузивов входят в состав среднеюрской толщи, а в Западном Забайкалье покровы кислых и средних эффузивов причисляют к нижней и средней, местами даже к верхней юре, и считают, что они, разрушаясь, питали обломочным материалом главным образом нижнемеловые толщи. Подобное противоречие устраняется, если допустить, что накопление внутривпадинных забайкальских моласс началось приблизительно в то же время, когда формировались базальные и краевые фации Иркутского бассейна, т. е. в средней юре.

Этих данных, по-видимому, достаточно для вывода о том, что юр-

ские кластогенные отложения в Прибайкалье не ограничиваются пределами Иркутского бассейна. Они проникают на юг и восток далеко в глубь современных горных сооружений, переходят в этом направлении и через Байкал. Следовательно, различие тектонических условий, в которых сформировались Иркутский бассейн и межгорные мезозойские прогибы Западного Забайкалья, не может служить основанием для доказательства разновозрастности их отложений. Более того, как это подчеркивалось нами и раньше, южная окраина Иркутского бассейна и угленосные впадины Забайкалья в структурном отношении развивались сходным образом [15].

Учитывая все эти данные, мы, по-видимому, вправе признать и известное стратиграфическое значение слоев, содержащих отпечатки ферганококх. Последние, как известно, и в Средней Азии, и в Западной Сибири характерны только для юры, главным образом для лейаса и доггера [16]. Не вполне ясно положение этих пелеципод в мезозое Приамурья и Дальнего Востока. Есть, однако, указания на то, что в этом районе они встречаются и в более молодых отложениях. Что касается Восточной Сибири, то ферганококхи имеются, с одной стороны, в заведомо среднеюрских отложениях, а с другой — встречаются внутри толщ, возраст которых некоторыми геологами оценивается как верхняя юра или верхняя юра — нижний мел (тургинский век). Г. Г. Мартинсон [10] считает этих моллюсков ниже-среднеюрскими и совершенно исключает возможность их проникновения в отложения моложе верхней юры. Б. А. Иванов [3] придерживается другой точки зрения, полагая, что ферганококхи могут присутствовать и в нижнемеловых (тургинских) отложениях и что комплекс пресноводной и наземной фауны вместе с флорой характеризует континентальные угленосные отложения Забайкалья как преимущественно нижнемеловые.

Нам кажется, что необходимо считаться с фактом присутствия ферганококх в слоях, слагающих нижние и средние части разреза угленосной серии, и в тех случаях, когда ее верхние горизонты по типичному тургинскому комплексу фауны следует уверенно относить к низам мела. Подобная картина наблюдается в некоторых впадинах Забайкалья (Тарбагатайской, Чикой-Хилокской, Гусиноозерской). Важно также, что ни в одном случае ферганококхи не найдены на этой территории в совместном залегании с типичной тургинской фауной циренид, рыб, филлопод и др., хотя положение тех или иных фаунистически охарактеризованных слоев в разрезах отдельных структур остается в большинстве случаев неясным.

Проблема стратиграфического положения ферганококх в мезозойских толщах Восточной Сибири остается, таким образом, не вполне разрешенной, но совокупность фактов позволяет все же считать их юрскими, а не нижнемеловыми формами.

Заслуживает внимания вопрос о границе между верхней юрой и нижним мелом в Забайкалье. Как известно, она не уточнена ни в Забайкалье, ни в Восточной и Северной Монголии,* несмотря на исследования, проведенные в большом объеме. Именно это обстоятельство давало различным исследователям повод относить угленосную серию Забайкалья то к переходной толще между верхней юрой и нижним мелом, то к одному нижнему мелу. По той же причине на большинстве геологических карт этой толще присваивается индекс $I_3 - C_{г1}$. В итоге новых фаунистических сборов Г. Г. Мартинсон [10] также отказался от

* Возраст Шарилинской свиты Восточной Монголии трактуется по-разному — и как верхняя юра, и как самые низы нижнего мела.

установления точной, палеонтологически обоснованной границы между юрскими и меловыми отложениями.

Отсутствию в Забайкалье ясно выраженных геологических границ между последними можно дать двойное толкование. Во-первых, в областях быстрого опускания несогласия или резкие фациальные скачки вверх, по разрезу, как известно, обычно сильно затушеваны, либо вообще отсутствуют; забайкальские впадины представляют пример таких опусканий. Во-вторых, южным и восточным районам Сибири вообще свойственен некоторый сдвиг седиментационных и тектонических циклов во времени, и если в Западном Забайкалье, по-видимому, не имеется очень резкого скачка в развитии мезозойских впадин даже между средней и верхней юрой (этот скачок ясно выражен в Восточном Забайкалье), то отсутствие перерыва в накоплении (а, следовательно, и существенных преобразований в палеогеографии, влекущих за собой и изменения фауны) между верхней юрой и нижним мелом представится совершенно естественным.

Развитие пресноводной и наземной фауны в Забайкалье в целом было, по-видимому, непрерывным от нижней или средней юры до низов мела. В отдельных же впадинах этот процесс начинался в различное время, ибо они сами возникали неодновременно. Как видно из имеющихся материалов, позже других возникли впадины и соответствующие им осадки и биоценозы на Витимском плоскогорье — области относительно стабильной. Этот вывод подтверждается сравнительно малыми мощностями свит и преобладанием тонкозернистых озерных типов среди прочих мезозойских осадков Витимского плоскогорья, неизменно содержащих либо переходную к нижнему мелу, либо только нижнемеловую фауну.

Таким образом, вопрос о точной датировке отдельных частей разреза верхнемезозойских отложений Восточной Сибири продолжает оставаться в стадии изучения. Он еще далек от окончательного разрешения. Между тем потребность в обоснованной региональной стратиграфической схеме этих отложений очень велика, особенно в настоящее время, когда в Прибайкалье и Забайкалье ведутся в значительном объеме не только углепоисковые, но и нефтепоисковые работы, сосредоточенные главным образом в мезозойских впадинах.

Если юрские отложения в пределах внутреннего поля Сибирской платформы формировались в очень плоских и широких прогибах за счет сноса обломочного материала с горных высот, располагавшихся на месте современного Саяно-Байкальского нагорья, то на площади последнего юрское накопление шло в типично выраженных межгорных впадинах. Как следует из новых наблюдений, эти впадины представляли собой глубокие синклинали в сочетании со структурами рифтового типа. Принципиально от них ничем не отличался и особенно глубокий и обширный юрский прогиб, располагавшийся в Восточном Забайкалье и вмещавший морской бассейн в своей центральной, наиболее опущенной части [4]. Этот прогиб обладал некоторыми чертами геосинклинали, но его краевые части в структурно-фациальном отношении развивались так же, как и узкие континентальные впадины соседних областей. Непосредственная близость горного окружения — одна из главных черт той обстановки, в которой происходило накопление юрских, а затем и меловых осадков на юге Восточной Сибири.

Рассматривая литолого-генетические особенности последних, нельзя не прийти к выводу, что окраинные части Иркутского бассейна и Восточно-Забайкальского субгеосинклинального прогиба, а также внутригорные впадины остальной части Забайкалья и всего Прибайкалья пред-

ставляли собой области накопления континентальных толщ, теснейшим и непосредственным образом сопряженные с охватывавшими их гористыми пространствами, как питающими провинциями. Следовательно, эти толщи представляют собой парагенезисы пород, отвечающие всем главным признакам внутриконтинентальных моласс. Во многих случаях они содержат обугленные растительные остатки и пласты углей, и поэтому могут быть причислены к угленосным молассам — формационному типу, который, как известно, был очень широко распространен в мезозое и кайнозое Урала, Средней и Центральной Азии, Восточной и Северной Сибири. Одной из характерных черт накопления осадков по молассовому типу во внутригорных впадинах Забайкалья явилось сложное сочетание кластогенных, местами угленосных и битуминозных юрско-меловых толщ с разнообразными элементами континентальной вулканогенной формации — лавами, туфами и туфитами.

Циклическое строение разреза для угленосных юрско-меловых толщ Восточной Сибири нетипично. Во всяком случае цикличность в осадконакоплении выражена в них значительно хуже, чем в крупных бассейнах, таких, например, как Донецкий и Кузнецкий. Это явление может быть объяснено не только особенностями тектонического режима соответствующих областей верхнемезозойского накопления, ибо колебательные движения с переменой их знака, конечно, имели место повсюду. Расплывчатость циклов или ритмов в угленосных толщах Восточной Сибири (даже в тех, которые содержат многочисленные угленосные горизонты) скорее всего объясняется суженными рамками площадей, на которых накапливались осадки, а также весьма энергичным горным рельефом междувпадинных пространств и импульсивным, резким характером вертикальных движений. Только сочетанием таких условий можно объяснить, например, нередкое нахождение в кровле угольных пластов грубозернистых песчаников, даже конгломератов, или внезапное появление в разрезе, среди углистых и битуминозных горизонтов, очень грубых глыбовых конгломератов.

Относительная суженность пространственных рамок, свойственная накоплению в мезозойских межгорных прогибах Восточной Сибири, ярко проявляется в горизонтальном фациальном изменении слоев и в наличии краевых, типично предгорных фаций. Это явление было особенно тщательно проанализировано для Забайкалья Б. А. Ивановым [3]. Однако оно прекрасно выражено и на южной окраине Иркутского юрского бассейна, где распространены так называемые «дабатская» и «байкальская» грубообломочные «фации» [17, 18]. Осадки последних, особенно конгломераты «байкальской фации», издавна причислялись к выносам Пра-Селенги, верховья которой в юрское время уходили, как и в настоящее время, далеко на юг, а нижнее течение будто бы находилось на месте современного Байкала и истоков Ангары. Но в составе обломков байкальских конгломератов, помимо порфиров мезозойского облика, немало валунов и даже плохо окатанных глыб древних перекристаллизованных милонитов, полосы которых пронизывают толщи архея в Лиственинском массиве и в склонах Приморского хребта. Кроме того, различные данные говорят о том, что вблизи истока современной Ангары и выходов байкальских юрских конгломератов, обрезаемых береговой линией Байкала, протягивается очень мощный и древний глубинный разлом, отдельные части которого в позднем мезозое были преобразованы в сложную систему Ангарского надвига. Поэтому, учитывая ряд аналогичных соотношений в бортовых частях юрских впадин Западного Забайкалья, весьма правдоподобно видеть в байкальских конгломератах типичную краевую фацию, обломочный материал которой поступал

не издавека, а с вершинных частей и склонов мощного сводового поднятия, располагавшегося в юрское время на месте современного Байкала и обрезанного где-то на самом южном окончании предгорного Иркутского прогиба деятельным глубинным разломом.

В связи с затронутым вопросом возникает другой, не менее существенный: какого рода тектонические движения контролировали и регулировали ход осадконакопления во внутригорных мезозойских впадинах Восточной Сибири? Подробно рассмотреть этот вопрос в краткой статье невозможно, ибо он тесно связан с общей проблемой мезозойской тектоники Прибайкалья и Забайкалья. Отметим лишь, что, по нашим представлениям, в образовании мезозойских впадин принимали участие и изгибы древнего фундамента, и его разломы в весьма разнообразных сочетаниях.

Весьма важными с такой точки зрения представляются находки в конгломератах юрско-меловых толщ Забайкалья разнообразных тектонов в виде окатанных галек и глыб, на что особое внимание обратила М. С. Нагибина [5, 6], а также другие данные о древности заложения крупных разломов, к которым приурочены многие мезозойские прогибы Забайкалья. Новые исследования показали также, что часть этих разломов оставалась активной в периоды осадконакопления, определенным образом влияя на характер и размещение фаций в краевых частях впадин. Поэтому грубые конгломератовые толщи, заключающие в себе гальку и остроугольные обломки милонитов, катаклазитов и брекчий, связаны, как правило, с краевыми разломами и могут служить целям их выявления даже в тех случаях, когда сами разломы скрыты под чехлом позднейших осадков. Юрские меловые толщи, соприкасающиеся с подобными «конседиментационными» разломами и коррелятивно с ними связанные, имеют весьма грубообломочный состав и грубослоисты; по направлению к внутренним частям впадин они нормально расслаиваются, становятся более мелкозернистыми и включают пласты углей. С близостью к краевым разломам связаны также случаи резкого и глубокого вторжения в толщи песчанико-глинистого состава линз грубообломочных отложений, представляющих типичные фации горных подножий (например, в Гусиноозерской впадине). Напротив, в краевых частях впадин, где не ощущается влияние краевых разломов, мезозойские толщи расслоены нормальным образом, и фронтальное замещение различных, в том числе и угленосных горизонтов конгломератами и конгломерато-брекчиями здесь не имеет места. В этих случаях не приходится говорить о непосредственной близости первичных границ осадконакопления, даже если в составе базальных слоев находятся в обилии обломки местных кристаллических пород фундамента.

Ряд фактов, полученных в последнее время, свидетельствует с полной ясностью о том, что первичные границы бассейнов мезозойского осадконакопления, протекавшего без влияния «конседиментационных» разломов, были шире современных. В особенности это касается Боргойской впадины, описанной в 1955 г. С. М. Замараевым [19]. На юго-восточной окраине последней складчатые нижнемеловые алевролиты слагают высокий массив Баян-Ундур и срезаются Боргойским надвигом уже за пределами геоморфологического контура впадины. П. М. Клевенским [20] и нами юрские конгломераты наблюдались на большой высоте над дном этой впадины на ее противоположном, северо-западном склоне, не об-

* Под конседиментационными разломами мы понимаем длительно живущие геоморфологически выраженные разломы, с которыми связаны накопление и размещение фаций осадков на соседнем опущенном блоке или в крыле ближайшего прогиба.

наруживая при этом никаких признаков выклинивания. Известным примером залегания юрских угленосных отложений вне границ современных впадин является положение юрской почти недислоцированной толщи на хребте Кодар. Наконец, довольно мощная толща континентальных отложений, по-видимому, юрского же возраста обнаружена в последние годы на вершинах Тункинских белков на высотах более 1000 м над дном одноименной впадины, выполненной очень мощной толщей неогеновых и четвертичных осадков. Все эти данные показывают, что во всех случаях, когда юрские и меловые толщи коррелятивно не связаны с «конседиментационными» разломами (о чем можно судить лишь по соответствующему строению разреза отложений и их литологии), мы не можем уверенно реконструировать контуры первичных бассейнов мезозойского осадконакопления.

Следовательно, действительные контуры бассейнов седиментации рассматриваемых эпох остаются для нас во многом неясными. Вместе с тем в ряде впадин достаточно определенно вырисовываются границы первичного торфо- и угленакопления, сосредоточенного или на периферии, или во внутренних частях «угленосных мульд», разделенных «безугольными антиклиналями». Это явление, связанное с особым тектоническим режимом разных участков внутри крупных мезозойских прогибов, было подмечено и рассмотрено в ряде работ Б. А. Ивановым [3, 18].

Последний общий вопрос, которого мы еще раз коснемся, — о причинах обособленного и несколько ограниченного мелового осадконакопления в Восточной Сибири по сравнению с масштабом юрского осадконакопления. Мы уже указывали на нарастание разнообразных «тихоокеанских» тенденций в восточном направлении, что дает нам общее решение этого вопроса. Можно, однако, указать и на более конкретное выражение той же тенденции — пояс глубинных байкальских разломов, деятельных до настоящего времени и разграничивавших области с разным направлением и разным содержанием геологического развития, начиная, по-видимому, еще с верхнего протерозоя. В самом деле, меловые (или переходные верхнеюрско-меловые) толщи распространены в рассматриваемой области только по одну сторону байкальских разломов, тотчас к востоку и юго-востоку от современного высокогорного Прибайкалья, а далее, на советском Дальнем Востоке, в Северном Китае, и в Восточной Монголии, они еще более широко развиты [11, 21, 22]. Весьма вероятно, что байкальские разломы, породившие впоследствии (в кайнозое) своеобразные линейные структуры, морфологически близкие к глубоководным океаническим рвам, начинают собою с запада широкую зону влияния развивающейся Тихоокеанской впадины. Подобную точку зрения на развитие в меловом периоде восточной части Китая недавно высказал В. В. Белоусов [21], указавший, что молодые структуры этой территории (сундучные складки, грабены и пр.) лучше всего могут быть поняты как следствие растяжения и растрескивания земной коры по периферии Тихого океана. Конечно, такие представления гипотетичны, но они привлекают тем, что дают некоторую вероятную общую основу для объяснения главных черт распространения и залегания меловых толщ на огромной территории Восточной Азии. В частности, широкое развитие нижнемеловых отложений, залегающих в многочисленных синклинальных прогибах и сбросовых рвах, на всем пространстве между Байкалом и Тихоокеанским побережьем оказывается с такой точки зрения и естественным, и исторически необходимым.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Львов, Из геологического прошлого средней части долины р. Иркут в пределах от Тункинской котловины до Зыркузунского хребта. Изв. Вост.-Сиб. отд. Рус. географ. общ-ва, т. 46, вып. 3, 1924.
2. И. А. Молчанов, Угольные месторождения Забайкалья. Сб. «Угольные районы Сибири» (под ред. М. К. Коровина). ОНТИ, 1933.
3. Б. А. Иванов, Угольные и другие мезозойские континентальные отложения Забайкалья. Тр. Вост.-Сиб. геол. упр., Иркутск, вып. 32, 1949.
4. Б. Н. Козеренко, А. Ф. Мушников, К стратиграфии и тектонике юрских отложений Восточного Забайкалья. Уч. зап. Львовск. гос. ун-та, т. 23, сер. геол., вып. 6, 1953.
5. М. С. Нагибина, К вопросу о стратиграфии и возрасте континентальных верхнемезозойских отложений Забайкалья. Изв. АН СССР, сер. геол., № 1, 1946.
6. М. С. Нагибина, Верхнемезозойские континентальные отложения Забайкалья, их состав и условия образования. Тр. ин-та геол. наук АН СССР, вып. 128, сер. геол., № 49, 1951.
7. Е. В. Павловский, Сравнительная тектоника мезо-кайнозойских структур Восточной Сибири и Великого Рифта Африки и Аравии. Изв. АН СССР, сер. геол., № 5, 1948.
8. Н. А. Флоренсов, О роли разломов и прогибов в структуре впадин байкальского типа. Вопросы геологии Азии, 1, 1954.
9. В. Н. Козеренко, Геологическое строение юго-восточной части Восточного Забайкалья. Изд. Львовского ун-та, 1956.
10. Г. Г. Мартинсон, О разновозрастности континентальных отложений Забайкалья. Изв. АН СССР, сер. геол., № 2, 1955.
11. И. Е. Туринцев, Нижнемеловые отложения юго-восточной части Монгольской Народной Республики. ДАН СССР, т. ХСІХ, № 3, 1954.
12. Н. А. Логачев, Кайнозойские отложения Прибайкалья. Дис., Иркутский ун-т, 1956.
13. Н. С. Шатский, К тектонике юго-восточного Прибайкалья. Пробл. сов. геологии, № 2, 1933.
14. С. М. Замаараев, Геологическое строение дельты р. Селенги. Фонды треста «Востсибнефтегеология», Иркутск, 1955.
15. Н. А. Флоренсов, Некоторые структурные особенности угленосных толщ Прибайкалья. Тр. Лаб. геол. угля АН СССР. Мат. второго угольн. совещ., вып. VI, 1956.
16. Г. Г. Мартинсон, Мезозойские и кайнозойские моллюски континентальных отложений Сибирской платформы, Забайкалья и Монголии (биостратиграфия, систематика, тафономия). Дисс., Ленинградский ун-т, 1957.
17. В. Н. Данилович, Тектоника юго-восточной окраины Прибайкальской юры. Тр. Вост.-Сиб. геол. управл., Иркутск, вып. 29, 1941.
18. Б. А. Иванов, Структура и условия накопления осадков юго-восточной части Иркутского каменноугольного бассейна. Изв. АН СССР, сер. геол., № 6, 1950.
19. С. М. Замаараев, Геологическое строение и перспективы нефтеносности Боргойской впадины в Западном Забайкалье. Фонды треста «Востсибнефтегеология», Иркутск, 1956.
20. П. М. Клевецкий, Геологическая съемка в районе Гусиного озера и низовьев рр. Джиды, Темника, Чикоя и Хила. Фонды Б.-М. компл. геол. экспедиции, Улан-Удэ, Отчет за 1931—33.
21. В. В. Белоусов, Основные черты тектоники Центрального и Южного Китая. Изв. АН СССР, сер. геол., № 8, 1956.
22. Ли-Сы-гуан, Геология Китая. ИЛ, М., 1952.

И. В. ДЕРБИКОВ, Е. И. БЕНЬКО

СХЕМА ТЕКТОГЕНЕЗА МЕЗО-КАЙНОЗОЯ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

В немногочисленных опубликованных работах, касающихся глубинного тектонического строения мезо-кайнозойского чехла эпигерцинской платформы Западно-Сибирской низменности [1—6 и др.] вопросы тектоники чехла рассматриваются, как правило, под углом зрения характеристики морфологии конкретных структур и развития их в пространстве, обычно на коротких отрезках времени. Сводного анализа развития тектоники по всему разрезу мезо-кайнозоя низменности пока опубликовано не было.

Одну из причин этого исследователи видят в недостаточной изученности буровыми работами огромной территории низменности. Пользуясь методом вариационной статистики, мы попытаемся все же построить схему тектогенеза низменности на основе относительно небольшого количества скважин, используя для этого материалы тематической треста Сибнефтегеофизика впоследствии СНИИГГИМСа (начальник партии И. В. Дербиков).

Основным типом тектонических движений эпигерцинской платформы Западно-Сибирской низменности, как и любой другой платформы, являются дифференцированные глыбовые перемещения фундамента, влияющие на изменение мощности осадков чехла в различных участках платформы. В силу этого количественное выражение степени изменчивости мощностей осадков каждой данной эпохи (горизонта) можно считать количественным показателем тектонической (структурно-формирующей) активности эпохи. Вероятно, именно это В. В. Белоусов понимает под контрастностью движений [7].

На основании методики вариационной статистики за величину тектонической активности можно, очевидно, принять среднееквадратическое отклонение мощностей рассматриваемого горизонта от его средней мощности — так называемый стандарт* [8].

Вычисленные нами таким образом стандарты мощностей, или величины тектонической активности, различных эпох мезо-кайнозоя в южной части Западно-Сибирской низменности (Среднее Прииртышье и Обь-Иртышское междуречье общей площадью в 360000 км²) отражены в виде графика на сводной стратиграфической колонке осадков мезо-кайнозойского чехла низменности (рис. 1). Там же приведены график средних мощностей этих горизонтов и, вычисленный нами по материалам сотрудника той же партии Л. А. Сигал, график коэффициентов песчаности (или процент суммарной мощности прослоев песчаников в разрезе) каждого горизонта.

Мощности для вычисления стандартов приняты по данным буровых

* $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}}$, где: n — число случаев наблюдения мощностей (число скважин), x — частное значение мощности в отдельной скважине и $\bar{x}$ — средняя мощность данного горизонта по всем скважинам.

работ, проведенных на рассматриваемой территории в 21 пункте. При этом для пунктов, где пройдено несколько скважин, взяты средние мощности.

Приведенные графики, иллюстрируя количественный метод анализа платформенной тектоники вообще, в данном конкретном случае позволяют сделать некоторые интересные выводы о тектонике мезо-кайнозой Западно-Сибирской низменности и, в частности, предоставляют возможность впервые дать сравнительную количественную оценку тектонической активности различных эпох мезо-кайнозоя.

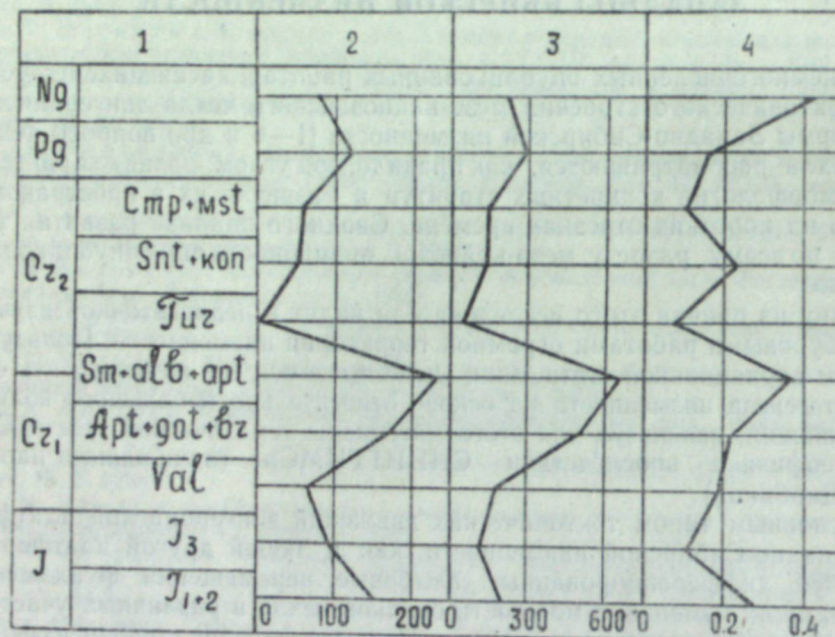


Рис. 1. Диаграмма сопоставления графиков тектогенеза мезо-кайнозоя для южной части Западно-Сибирской низменности.

1 — стратиграфическое расчленение, 2 — стандарты мощностей стратиграфических горизонтов, 3 — средние мощности стратиграфических горизонтов, 4 — средние коэффициенты песчаности стратиграфических горизонтов.

1. На первом графике (рис. 1, графа 2) четко количественно выражена периодичность (циклическость) развития тектоники в мезо-кайнозойском чехле низменности, аналогично тому, как это установлено качественными геологическими методами для других районов мира. Хорошо видно, что максимальной активности тектонические движения в Западно-Сибирской низменности достигали в эпохи рэт-лейаса (стандарт 152 м, киммерийская фаза), апт-готерив-баррема (стандарт 168,7 м) и особенно в эпоху сеноман-альб-апта (стандарт 231 м, австрийская фаза); несколько менее интенсивно тектоника проявилась в палеогене (стандарт 123,4 м, ларамийская фаза). Перечисленные эпохи повышенной тектонической активности разделены эпохами почти полного успокоения — валанжина и особенно спокойного турона, которые характеризуются особенно выдержанными мощностями, дающими наиболее низкие значения стандартов (соответственно 63 м и 9,2 м).

Вычисление величин стандартов с учетом скорости накопления (абсолютный возраст по Дж. Марбли) дает график тектонической активности вполне сходного характера.

2. Соответствие графиков граф 2 и 3 (рис. 1) свидетельствует о том, что наибольшая дифференцированная (структуро-формирующая)

тектоническая мобильность в фундаменте низменности всегда сопровождается наибольшим региональным погружением, вызывающим накопление осадков повышенной средней мощности.

3. На основе данных В. П. Казаринова (1957)* о тектонической природе литологических и хемогенных особенностей формаций осадков мезо-кайнозоя Западной Сибири и с учетом вышесказанного можно сделать вывод, что в эпохи больших погружений, сопровождавшихся повышенной дифференцированной мобильностью фундамента и накоплением в низменности осадков большой мощности, на площадях обрам-

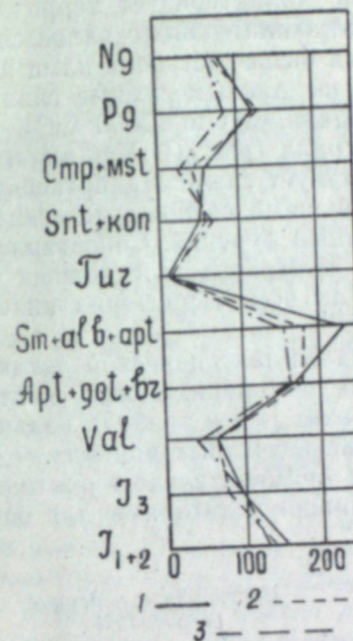


Рис. 2. Графики изменения величины стандартов мощностей стратиграфических горизонтов мезо-кайнозоя в зависимости от количества использованных скважин.

1 — по данным 21 скважин, 2 — по данным 11 скважин, 3 — по данным 5 скважин.

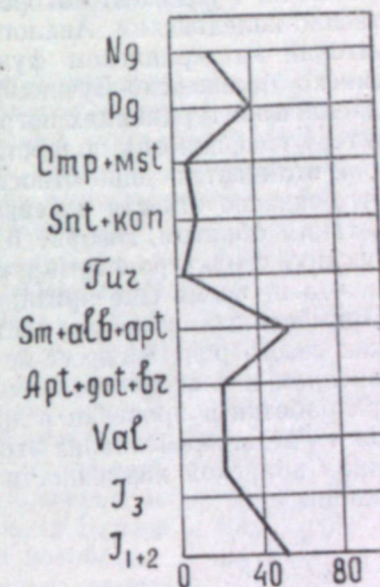


Рис. 3. График стандартов мощностей стратиграфических горизонтов мезо-кайнозоя для Туринско-Мальцевско-Лучинской площади по данным 10 скважин.

ления низменности шло интенсивное горообразование, сопровождавшееся денудацией и сносом в низменность преимущественно грубокастического (относительно) материала, дававшего в эти эпохи осадки с повышенным коэффициентом песчаности (рис. 1, графа 4).

Рассмотренная выше схема тектогенеза (рис. 1, графа 2) мезо-кайнозойского чехла эпигерцинской платформы Западно-Сибирской низменности хорошо согласуется со схемой В. П. Казаринова (1957), разработанной в 1955 г. на основе фациального анализа хемогенных осадков, и соответствует схеме, построенной нами и В. П. Казариновым в 1955 г. для рассматриваемой территории на основе анализа сейсмо-геологических разрезов только структур третьего порядка.** Она достаточно близка и представлениям Б. А. Петрушевского [9] о мезо-кайнозойской истории Урало-Сибирской платформы, в которой он, однако, отрицает наличие циклическости; с последним не позволяют согласиться изложенные выше фактические данные.

* «Схема периодичности осадконакопления в мезозое и кайнозое Западной Сибири» (в печати).

** Работа представлена к печати.

Чтобы установить зависимость точности наших тектонических построений от количества используемых скважин, нами были построены аналогичные графики для той же территории по данным 11 и, затем, 5 скважин, механически взятых из общего количества используемых скважин. Сопоставление (рис. 2) этих графиков с основным графиком, построенным по данным 21 скважины, говорит об их почти полном тождестве и, следовательно, о возможности (в условиях низменности) использования для тектонических построений даже пяти скважин, конечно, более или менее равномерно расположенных.

Построенная выше схема тектогенеза характеризует территорию низменности, фундамент которой в рассматриваемом районе является существенно каледонским. Аналогичная схема была построена нами и для территорий на герцинском фундаменте — по данным десяти скважин Турбинско-Мальцевско-Лучинкинской площади (около 15000 км²), расположенной на герцинидах погребенного Урала (рис. 3). Как видно, по характеру графика она полностью соответствует схеме Прииртышья, от которой отличается лишь относительно меньшими величинами стандартов, что связано отчасти с меньшей площадью бурения. Сопоставление схем, таким образом, говорит о вероятной синхронности основных тектонических, структуро-формирующих фаз на всей территории низменности, что не всеми еще признается.

Примененный выше вариационный анализ тектонической активности, как своего рода экспресс-метод анализа тектоники, может явиться дополнением к классическому методу изопахит [10] и требует дальнейшей разработки и проверки в других, лучше изученных районах.

Более детальный анализ этого вопроса применительно к тектонике Западно-Сибирской низменности подготавливается авторами для опубликования.

СНИИГГИМС

Поступила в редакцию
26/XII 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. С. М. Чихачев, О природе структур южной части Западно-Сибирской низменности. Нефтяное хозяйство, № 5, 1954.
2. Н. И. Архангельский, О послепалеозойской тектонике Восточного склона Урала и Зауралья. Изв. АН СССР, сер. геол., № 3, 1955.
3. Н. Н. Ростовцев, Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Западно-Сибирской низменности. ВСЕГЕИ, Информ. сб., № 2, 1955.
4. Н. Н. Ростовцев, Западно-Сибирская низменность. Очерки по геологии СССР, т. 1, Гостехиздат, Л., 1956.
5. Г. Е. Рябухин, И. И. Нестеров, Тектоника и возможная нефтегазоносность мезозойских отложений северного погружения складчатого Казахстана. Нефтяное хозяйство, № 10, 1956.
6. Ф. Г. Гурари, Структурные особенности мезо-кайнозойского чехла Западно-Сибирской низменности. Геология нефти, № 8, Гостехиздат, М., 1957.
7. В. В. Белоусов, Основные вопросы геотектоники, Гостехиздат, М., 1954.
8. В. И. Романовский, Применение математической статистики в опыном деле. Гостехиздат, М., 1947.
9. В. А. Петрушевский, Урало-Сибирская эпигерцинская платформа и Тянь-Шань (история развития в мезозойское и кайнозойское время и вопросы сейсмичности). Изд. АН СССР, М., 1955.
10. В. В. Белоусов, Мощность отложений как выражение режима колебательных движений земной коры. Сов. геология, № 23, М., 1940.

И. В. БЕЛОВ

ЛАВЫ ДЖИДИНСКИХ ВУЛКАНОВ

Наиболее интересным новейшим геологическим явлением в юго-западной части селенгинской Даурии является излияние мощных четвертичных базальтовых лав, заполнивших собой почти всю долину р. Джиды и ее северных притоков: Хурай-Цакир, Хамней, Дархинтуй, Бартой и Баянгол. На р. Джиды базальтовые лавы начинаются в 2 км ниже пос. Модонкуль и затем непрерывно прослеживаются вниз по долине на 82—85 км, заканчиваясь между поселками Цеже и Харацай.

Джидинский базальтовый покров перекрывается лавами, вытекающими из долин рек Хамней и Хурай-Цакир. Базальтовые лавы вверх по долине р. Хамней прослеживаются до р. Дархинтуй. На дархинтуйском лавовом поле в устье р. Бартой лежит горизонт, сложенный галечниками и песками; последние перекрываются натриевыми шихлунитовыми лавами р. Бартой. Потоки шихлунитовых лав из пади Барун-Хобол также перекрывают дархинтуйский лавовый покров. В западном конце на лавовом поле р. Бартой расположены небольшие вулканические конусы. На водоразделе между реками Бартой и Дархинтуй лежат базальтовые покровы верхнетретичного возраста.

В верховьях р. Джиды лавовый покров перекрывается базальтовыми потоками р. Хурай-Цакир. В верхней части р. Хурай-Цакир на расстоянии 8,5—9,0 км от р. Джиды расположен вулканический конус, описанный впервые А. П. Божинским [1]. Современная форма хурайцакирского лавового поля имеет грубую, морщинистую поверхность с 10 уступами, расположенными перпендикулярно направлению лавового потока в нижней части и под небольшим углом у истоков лавы в районе блюдцеобразного провала (бокки). Высота наиболее крупных лавовых уступов около 20 м. В нижней части хурайцакирского лавового поля наблюдаются несколько вытянутые вдоль потока куполообразные вздутия диаметром до 45—50 м и высотой 8—10 м. Центральные части вздутия разрушены и имеют неправильной формы углубления, стенки которых сложены шлаковыми массами черных базальтовых лав.

Хурайцакирский вулкан расположен на плоской ровной поверхности шириной около 3 км, покрытой базальтовой лавой. Высота вулканического конуса 155—160 м. Разница в отметках между подошвой вулкана и нижней частью джидинского лавового покрова достигает 200—210 м. На шлаковом конусе сохранились три кратерные углубления диаметрами 135—140, 30 и 22 м; кратерные углубления представляют собой плоские тарелкообразные участки, в настоящее время заболоченные. Они имеют крутые стенки высотой от 3 до 8 м. Из большого и малого кратеров имеются желобообразные выходы на север, в сторону пади Дунзугол. К северу по пади Дунзугол базальтовые лавы распространены на 300—350 м, а к востоку — до западных склонов пади Улентуй.

Конус вулкана сложен буровато-красными пепловыми рыхлыми туфами типа агглютинатов (75%), вулканическими бомбами и массой

лапилли (25%). В туфах отчетливо видна первичная слоистость, не совпадающая с современными контурами поверхности вулканического конуса. Потоков лав среди вулканического конуса не отмечается. В теле вулкана в большом количестве находятся вулканические бомбы разных форм, размеров и окраски. Преобладают буро-красные, окисленные, шарообразные, с поверхностью типа «хлебной» корки; реже встречаются небольших размеров, черного цвета. Во всех случаях бомбы состоят из пористых стекловатых базальтовых лав, с редкими вкрапленниками резорбированного оливина. Передняя поверхность бомб (обращенная при падении книзу) имеет вмятины неправильной формы до 1—2 см глубины, что свидетельствует о некоторой, но уже малой, вязкости этих продуктов эксплозий.

Твердые продукты эксплозий представлены крупными бесформенными глыбами и обломками сильно пористого базальта, вулканическим песком, лапилли, пеплом и обломками белых или светло-серых пемз. Последние встречаются в весьма незначительном количестве. Кроме этого, видимо, имелись и жидкие продукты эксплозий, так как среди бомб встречаются формы «лепешкообразные», «веретенообразные» и скрученные, вытянутые в одном направлении «канатики», которые, несомненно, выбрасывались в жидком состоянии из жерла Хурайцакирского вулкана.

У подножья, с северо-восточной стороны вулкана, выступают тонкопузыристые, черные, с вкрапленниками пироксена и натриевого санидина базальтовые лавы. В 400—500 м к востоку от конуса расположено блюдцеобразное углубление типа провала (бокки). Провал окружен валом высотой 10—12 м, с незамкнутым контуром в сторону юго-востока, т. е. долины р. Джиды. Размеры бокки 450—500 м, дно ее ровное, заболоченное; внутренние края вала крутые (20—25°), внешние пологие (3—5°). Вал сложен грубо- и мелкопузыристыми темно-серыми оливино-пироксеновыми трахибазальтовыми лавами. Следует полагать, что при возникновении последних потоков лава вытекала из бокки. Возможно, вначале здесь было невысокое вздутие, а затем уровень лавы опускался и поверхность принимала форму блюдцеобразного провала. Иных путей для выхода лавы или вулканических форм, указывающих на это, мы не нашли. А через вулканический шлаковый конус, как указывалось ранее, лава на дневную поверхность не изливалась.

Вулканические шлаковые конусы на р. Бартой расположены в 18—19 км от устья. Долина р. Бартой представляет собой широкую и плоскую впадину с пологими склонами. В северо-западной части впадины конусы бартойских вулканов перегородили долину, а западнее, в 3 км от последнего западного вулканического конуса, оканчивается и лавовое шихлунитовое поле. Бартойские вулканические конусы расположены цепочкой в широтном направлении. Они расположены по периферии блюдцеобразных углублений, в центре которых либо заболоченные углубления, либо небольшие озера круглой формы. Таких углублений (бокк) три. Они и являлись, по-видимому, центрами озер-вулканов, располагающихся на дне Бартойской впадины. Высота шлаковых конусов 50—60 м; наружные склоны их пологие (7—10°), а внутренние — более крутые и местами доходят до 25—30°. Нижние части шлаковых конусов переходят постепенно в блюдцеобразные углубления со склонами 3—5°. Все бартойские шлаковые конусы расположены на шихлунитовом лавовом поле. Кратерных воронок на них не обнаружено.

Сложены бартойские вулканические конусы красно-бурыми, темно-серыми и черными шлаками, агглютинатами, туфами и экструзивными обломками тонкопузыристых шихлунитовых лав. Среди шлаков часто

встречаются оплавленные и с остроугольной формой ксеногенные обломки дунитов, смоляно-черные кристаллы моноклинного пироксена и прозрачные крупные кристаллы натриевого санидина.

Барунхобольский вулкан расположен на низкой водораздельной части пади Барун-Хобол и небольшой речке Нарин-голу, впадающей слева в р. Дархинтуй. Высота вулкана над уровнем лавового поля 230—240 м. Он несколько вытянут в широтном направлении: длина его 2,3—2,5 км, наименьшая ширина подошвы 1,0—1,1 км. Наверху этой сложной вулканической постройки имеются две площадки с кратерообразными углублениями. Вулкан сложен переслаивающимися между собой темно-серыми базальтовыми лавами, красно-бурыми и темно-серыми туфами и черными базальтовыми стеклами. Валообразные возвышения на вершине вулкана сложены стекловатыми черными слабопузыристыми лавами.

Таким образом, Барунхобольский вулкан является единственным пока представителем типа сложных, слоистых вулканических построек бассейна р. Джиды. Хурайцакирский и группа бартойских вулканов принадлежат к типу туфо-шлаковых конусов, расположенных на лавовых полях, и относятся к завершающим этапам развития Джидинского субвулканического базальтоидного плутона.

Разрез отдельных базальтовых лавовых потоков является более или менее постоянным: верхняя часть его состоит из зоны стекловатых, грубопузыристых лав, переходящих иногда в самом вершине лавового потока в тонкопузыристые черные разности. Ниже грубопузыристых лав расположен слой плотных или очень слабо микропористых базальтов. В основании потока лежат слабопузыристые, со стеклянным блеском, иногда с бобовой текстурой разности этих пород.

Третичные лавовые поля сохранились только на водораздельных платообразных возвышенностях, в виде отдельных изолированных пятен, между долинами р. Бартой на севере и р. Дархинтуй на юге, а также в западной части бассейна р. Джиды.

Ниже (табл. 1) даются возрастные взаимоотношения лавовых полей бассейна р. Джиды.

Таблица 1
Возрастные взаимоотношения лавовых полей бассейна р. Джиды
(сверху вниз)

Возраст	Лавовые поля	Породы, составляющие лавовые поля	Фашии пород
Четвертичный	Бартойское и Барунхобольское	Шихлунитовые натриевые лавы, шлаки, агглютинаты и туфы	Покровная и пирокластическая
	Хурайцакирское	Трахибазальтовые оливиновые лавы, шлаки, агглютинаты, туфы и пемзы	Покровная и пирокластическая
	Дархинтуйское	Галечники, пески и почвы	Речных отложений
	Джидинское	Трахибазальтовые оливиновые лавы	Покровная
Верхнетретичный	Водораздельные	Оливиновые базальтовые лавы	Покровная

Минералогический состав лав

Существенное различие в минералогическом составе лав можно подметить только при рассмотрении отдельных возрастных групп.

Третичные лавы. Минералогический состав таких лав показан в табл. 2.

Таблица 2

Минералогический состав лав
с водораздела рек Бартой и Дархинтуй

Минералы	Содержание в объемных процентах	
	средняя часть потока	верхняя часть потока
Оливин*	5,1	2,4
Плагноклаз**	46,0	31,0
Пироксен	32,0	8,0
Магнетит	4,3	6,2
Палагонит	—	3,4
Карбонаты	2,1	—
Хлориты (пирометакаллонидные)	10,5	12,3
Стекло	—	36,7

* Содержание Fe: SiO₂ в средней части потока — 70%, в верхней — 80.

** Номер плагноклаза в средней части 58⁹/₁₀, а в верхней — 30.

Уменьшение количества вкрапленников железистого оливина в верхней части лавового потока связано с его резорбцией, а плагноклаза и пироксена — с явлениями закалки. При этом количество пироксена уменьшается на 24%, а плагноклаза на 15%.

Четвертичные лавы. Минералогический состав лав наиболее древнего Джидинского потока представлен оливином, плагноклазом, пироксенами (ромбический и моноклиновый), рудным минералом. В небольшом количестве здесь присутствуют щелочной полевой шпат, палагонит, хлориты и стекло. Соотношение раскристаллизованной части лавы к стеклу весьма разнообразное: от стекла с небольшим количеством резорбированных кристаллов оливина и микролитов плагноклаза до почти полностью раскристаллизованных пород. Вкрапленники принадлежат оливину и плагноклазу. Щелочной полевой шпат встречается в слабораскристаллизованной массе лав; кристаллы его сливаются со стеклом. В полностью раскристаллизованных лавах щелочной полевой шпат имеет лейстовидный облик несдвоенных образований. В Хурайцакирском лавовом потоке щелочной полевой шпат встречается чаще и имеет хорошо выраженные формы кристаллических индивидов.

Пироксены значительно распространены среди вкрапленников в лавах Хурайцакирского и Хамнейского потоков, причем в первом количественно преобладает моноклиновый пироксен — титан-авгит, во втором — ромбический пироксен.

Впервые среди четвертичных базальтов Восточной Сибири нами были найдены пемзы среди эксплозионных базальтовых выбросов Хурайцакирского вулкана. Здесь они встречаются отдельными кусками (до 0,2—0,3 м в диаметре) среди агглютинатов, бомб и лапиллей. Пемзы имеют белый с сероватым оттенком цвет и несколько шелковистый блеск. Они состоят из белого прозрачного пористого стекла, небольшого количества в сильной степени резорбированных полевых шпатов и небольших каплевидных участков бурого базальтового стекла. «Волокна» белого прозрачного стекла занимают меньший объем по сравнению с вытянутыми, эллипсоидальными и округлыми порами. Количество пор в

пемзе достигает 55—60% объема породы. Строение пемзового стекла в центральных и периферических частях обломков пемзы однородно. Последнее указывает на то, что быстрое застывание, охватившее всю массу силикатного расплава, предшествовало процессу раздробления, и в эксплозивную фазу выбрасывались отдельные куски пемзы.

Лавы бартойского и барунхобольского лавовых полей являются уже типичными щелочными основными породами — натриевыми шихлунитами. Оптическое изучение устанавливает общность их минералогического состава и микроструктур, хотя количественные соотношения породообразующих минералов в ряде разновидностей сильно варьируют. В хорошо раскристаллизованных разновидностях в состав щелочных горных пород входят оливин, титанистый авгит, плагноклаз, натриево-калиевый полевой шпат, нефелин, магнетит и в небольших количествах апатит и стекло.

Оливин встречается, главным образом, в виде более крупных первичных выделений, выступающих как микроскопические фенокристаллы. Более крупные из них имеют скелетное строение.

Моноклиновый пироксен в раскристаллизованных лавах является главным темноцветным минералом пород. Он встречается в форме удлиненных призматических кристаллов вместе с полевыми шпатами и нефелином, образующими основную массу горной породы. Кроме этого, в бартойских лавах очень часто встречаются крупные (до 1,0—1,5 см) корродированные смоляно-черные кристаллы авгита.

Плагноклаз присутствует в хорошо раскристаллизованных лавах бартойского потока в ассоциации с щелочным полевым шпатом и нефелином. Наиболее обычные его формы в породах — мелкие узкие лейсточки с тонкой двойниковой штриховкой. Номер плагноклаза 45—50; в стекловатых лавах в микролитах плагноклаза содержание анортитовой молекулы понижается до 32—35%.

Натриево-калиевый полевой шпат (натриевый санидин) является одним из главных минералов бартойских лав. В разных структурных типах лав имеются различные формы щелочного полевого шпата — резорбированные крупные вкрапленники и узкие лейсты с двойникованием по Карлсбадскому закону; обычным является срастание таких лейсточек в пучки с веерообразным их расположением. Вкрапленники щелочных полевых шпатов лежат то в плотной, то в пузыристой спумолитовой лаве. Резорбированные интрателлурические вкрапленники в районе вулканических конусов достигают 3—6 см в поперечнике.

Пересчет данных химического анализа щелочного полевого шпата по составным компонентам дает в количественном выражении (в %) натриевого компонента — 69,4; калиевого (санидина) — 20,1; кальциевого — 5,9; стронциевого — 3,9 и бариевого (цельзиана) — 0,7.

Нефелин встречается только в хорошо раскристаллизованных бартойских лавах. В большинстве случаев его здесь меньше, чем щелочного полевого шпата.

В полукристаллических лавах в значительном количестве присутствует черное непрозрачное стекло, включающее много микролитов натриевого санидина, небольшое количество плагноклаза, оливина, пироксена и редко встречающегося псевдолейцита. Крупных рудных выделений в этом типе лав нет.

В типичных стекловатых лавах бартойского поля в качестве выделений присутствуют оливин, моноклиновый пироксен, натриевый санидин и, редко, псевдолейцит. Крайне редки кристаллики магнетита. Все эти минералы имеют вид скелетных образований. Некоторые из них (оливин, пироксен и санидин) корродированы. Нет сомнения, что оли-

виновые, авгитовые и натриево-санидиновые фенокристаллы являются интрателлурическими выделениями. Появление большого количества щелочного полевого шпата в полнокристаллических лавах исключает присутствие в них псевдолейцита.

Эналогенные выбросы бартойских вулканов (ксенолиты ультраосновных пород)

В лавах долины р. Бартой и в спумолитах вулканических конусов встречаются ксенолиты ультраосновных пород, входящих в состав палеозойского основания в районе вулканических конусов, пади Барун-Хобол и левобережья р. Дархинтуй.

Ксенолиты ультраосновных пород имеют неправильные, остроугольные очертания среди спумолитов вулканических конусов и овальные формы в раскристаллизованных шихлунитовых лавах Бартойского поля. Размеры ксенолитов колеблются от 5 до 15 см в поперечнике. Оливин из ксенолитов в большинстве случаев представлен ксеноморфными кристаллами размером до 1 мм, а в ксенолитах из спумолитов он достигает 2—3 мм; здесь он светло-зеленый, прозрачный, с сильным блеском. Судя по химическому составу мономинеральных фракций оливина из ультраосновных пород и оптическим свойствам, оливин содержит 15—17% фаялитовой молекулы, т. е. относится к хризолиту.

Совместно с оливином присутствуют ромбический пироксен типа энстатита и зеленая, до светло-бурой, шпинель.

В контакте ксенолита с шихлунитовой лавой, по трещинкам в ультраосновной породе, появляется черное стекло с микролитами щелочных полевых шпатов; последние, кроме того, встречаются отдельными крупными (1—2 мм) индивидами в контакте с лавой.

Таблица 3

Химический состав ультраосновных пород
из ксенолита в спумолитах Бартойских вулканов
и серпентинизированного гарцбургита [4] р. Хутул-Барун-Убур*

Оксиды	1	2	3	4
SiO ₂	41,48	42,92	44,40	38,56
TiO ₂	0,36	0,40	0,20	слелы
Al ₂ O ₃	0,90	5,35	4,35	1,32
Fe ₂ O ₃	1,26	5,09	1,91	6,67
FeO	7,92	8,91	6,98	2,86
MgO	44,73	32,5	38,91	37,18
CaO	2,82	4,03	2,66	0,62
MnO	0,28	0,20	0,23	0,29
Na ₂ O	0,20	0,83	1,11	—
K ₂ O	—	0,03	0,02	—
H ₂ O ⁻	—	0,10	0,12	0,22
H ₂ O ⁺	—	—	0,70	—
P ₂ O ₅	—	0,03	0,01	—
NiO	—	—	—	0,24
П. п. п.	—	—	—	10,96
Сумма	99,95	100,40	101,60	98,92

* Химические анализы выполнены в лаборатории Института геологии ВСФАН СССР, аналитиками В. С. Лебедевой, Т. А. Лахно и Н. Г. Таскиной.

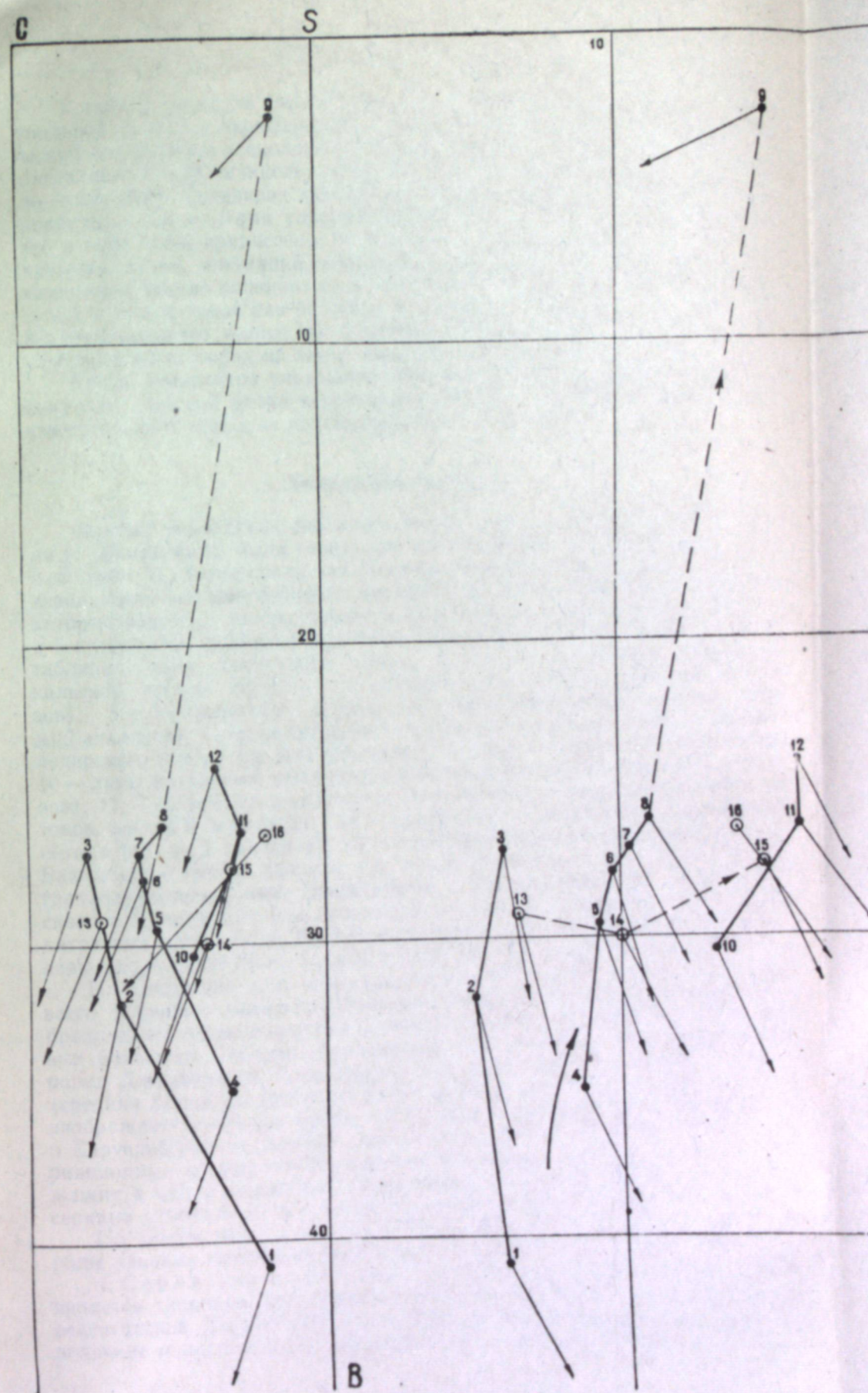


Рис. 1. Вариационная диаграмма лав бассейна р. Джиды.

В табл. 3 приведен химический состав ультраосновных пород из центральной (1 и 2) и периферической (3) частей ксенолита. (Минералогический состав этого ксенолита по трем шлифам (в %): оливин — 83—91, пироксен — 8—10, шпинель — 0,7—0,2, щелочной полевой шпат и стекло — 0,8—7,2). Сравнивая химический состав гарцбургита [4] с анализированными ксенолитами ультраосновных горных пород 1, 2 и 3, видим, что в него были привнесены из основной известково-щелочной магмы кремний, титан, алюминий, кальций и щелочи. Следует заметить, что химический состав оливинов из ксенолитов (15—17% фаялитовой молекулы) и базальтовых лав бассейна р. Джиды (65—75% фаялитовой молекулы) является одним из фактов, показывающих принадлежность ультраосновных пород из лав р. Бартой к аналогичным образованиям.

Кроме ксенолитов ультраосновных пород, в шлаках вулканических конусов р. Бартой редко встречаются мелкие ксенолиты песчаников и известковистых пород из кристаллического основания вулканов.

Химический состав лав

Данные химических анализов горных пород лавовых полей бассейна р. Джиды нами были разделены по отдельным возрастным группам лав (табл. 1). Затем среди них были вычислены средние составы, характеризующие все многообразие лав той или иной возрастной группы, которые нанесены на диаграмму в виде вариационных линий. В табл. 4 и 5 приводятся средние результаты химических анализов лав. В этих таблицах даны следующие лавы: 1, 2 и 3 — третичные Саяно-Байкальской горной области; 4 — Джидинского потока (ср. из 2 анализов); 5 — Хамнейского потока; 6 — Хурайцакирского потока (ср. из 2 анализов); 7 — Дархинтуйского потока (ср. из 2 анализов); 8 — Хурайцакирского потока (ср. из 2 анализов); 9 — пемза с вулкана Хурайцакир; 10 — лавы натриевых шихлунитов Бартойского потока (ср. из 6 анализов), 11 — натриевых шихлунитов Бартойского и Барунхобольского потоков (ср. из 6 анализов); 12 — натриевых шихлунитов Бартойского потока (ср. из 2 анализов); 13 — третичные базальтовые лавы Саяно-Байкальской горной области (ср. из 53 анализов); 14 — четвертичные трахибазальтовые лавы Джидинского, Хурайцакирского, Дархинтуйского и Хамнейского лавовых полей (ср. из 9 анализов); 15 — лавы натриевых шихлунитов Бартойского потока (ср. из 14 анализов); 16 — лавы шихлунитов Уюнь-Холдонги (Китай) (ср. из 10 анализов) [2].

На диаграмме (рис. 1) на плоскостях ASB и CSB мы видим прежде всего сплошные линии, соединяющие начальные точки векторов, изображающих средние составы, с одной стороны, третичных лав оливиновых базальтов («плато—базальтов») и, с другой, — трибазальтовых пород Джидинского, Хамнейского и Хурайцакирского лавовых полей (средняя линия на проекции ASB); правая линия на той же проекции изображает серию щелочных натриевых основных пород Бартойского и Барунхобольского лавовых полей. Эти линии представляют собою вариационные кривые, отображающие изменения состава лав, принадлежащих к одной возрастной серии пород. Различия между отдельными сериями отображаются в смещении вариационных линий слева направо.

По химическому и минералогическому составам базальтоидные породы лавовых полей бассейна р. Джиды относятся к трем сериям:

1. Серия лав оливинового базальта («плато—базальта») является типичным представителем основных известково-щелочных лав селенгинской Даурии. На диаграмме третичные оливиновые лавы по величине a на плоскости ASB занимают крайнее левое положение,

Таблица 4

Химический состав лав Джидинского, Хамнейского, Хурайцакирского, Дархинтуйского и Баргойского лавовых потоков и средние составы оливиновых базальтов, трахибазальтов и шихлунитов*

Оксиды	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂	47,33	47,47	47,77	47,10	48,20	73,16	45,16	46,53	46,50	47,86	47,57	46,08	50,39
TiO ₂	1,45	1,98	1,84	2,52	2,93	—	2,48	2,46	2,56	2,26	2,36	2,50	2,38
Al ₂ O ₃	11,79	15,58	16,41	16,80	16,55	14,28	15,37	16,63	18,20	15,90	15,42	16,16	13,98
Fe ₂ O ₃	6,97	2,10	5,91	2,88	2,07	0,36	4,60	4,54	6,76	5,33	3,99	4,64	3,23
FeO	9,27	10,13	6,79	8,64	8,85	0,72	8,09	7,38	5,46	7,50	8,73	7,61	5,90
MgO	8,52	7,95	7,40	6,08	6,18	0,58	7,90	5,66	5,01	8,19	7,22	6,50	7,32
CaO	8,32	8,63	7,98	9,38	8,22	1,29	7,41	6,66	6,40	8,85	8,50	7,04	7,07
MnO	0,20	0,10	0,18	0,15	0,14	—	0,12	0,14	0,15	0,25	0,15	0,50	0,14
Na ₂ O	3,02	3,43	3,10	3,43	3,71	3,88	4,50	5,51	5,80	2,21	3,34	5,11	3,35
K ₂ O	1,77	1,56	1,97	1,81	2,00	4,67	1,80	3,00	2,13	1,08	1,82	2,47	4,91
H ₂ O ⁻	0,42	0,07	0,33	0,41	0,36	1,06	0,62	0,37	0,24	—	0,40	0,35	—
H ₂ O ⁺	—	—	—	0,18	0,61	—	0,78	0,70	0,75	—	0,32	0,58	—
P ₂ O ₅	0,55	0,71	1,25	0,50	0,63	—	0,50	0,71	0,52	0,57	0,73	0,58	0,93
Сумма	99,61	99,71	100,93	99,88	100,45	100,00	99,33	100,29	100,48	100,0	100,55	100,12	99,60

* Химические анализы выполнены в лаборатории института геологии ВСФАН СССР аналитиками В. С. Лебедевой, Т. А. Лахио и Н. Г. Таскиной.

Таблица 5

Параметры векторов вариационных линий для лав базальтовых полей бассейна р. Джиды

Номера анализов	a	c	v	s	n	c'	m'	f'	Q
1	6,0	2,1	40,9	51,0	70	19	38	43	-12
2	5,0	7,0	32,0	56,0	70	12	50	38	-5
3	6,0	8,1	27,0	59,0	71	8	50	42	-2
4	8,6	3,3	35,3	52,8	72	18	39	43	-15
5	9,2	5,8	29,5	55,5	88	16	45	39	-12
6	9,7	6,2	27,8	56,3	70	13	45	42	-15
7	10,3	6,3	27,0	56,4	74	19	40	41	-14
8	11,0	5,5	26,1	57,4	74	21	35	44	-12
9	15,0	1,5	2,6	80,9	60	a=41	18	41	+30
10	13,1	3,5	30,4	53,0	72	18	42	40	-23
11	16,0	2,9	26,3	54,8	72	25	34	41	-36
12	16,0	3,7	24,1	56,2	72	17	36	47	-23
13	6,5	7,5	29,5	56,8	75	12	48	40	-8
14	10,0	4,1	30,0	55,9	75	20	40	40	-12
15	14,8	3,4	27,5	54,3	75	18	40	42	-24
16	13,9	2,1	26,4	57,6	50	24	45	31	-15

приближаясь к оси SB; на плоскости CSB эта линия по величине *c*, по отношению к другим, смещена влево, т. е. лавы, входящие в состав этой серии, наиболее насыщены полевошпатовой известью. В породах этой серии повсеместно присутствуют оливин, основные плагиоклазы, титан-авгит и рудные минералы. В интерстициях между плагиоклазами появляются цеолиты, палагонит, карбонат и в некоторых (редких) случаях натриево-калиевый полевой шпат в виде каемок вокруг основных плагиоклазов.

2. Серия лав трахибазальта. Представителями основных субщелочных (щелочно-кальциевых) пород являются лавы Джидинского, Хурайцакирского, Хамнейского и Дархинтуйского полей. На диаграмме вариационные линии этих лав на плоскости ASB и CSB смещены вправо и несколько кверху, к ребрам развернутого тетраэдра SA и SC.

Сравнивая трахибазальтовую серию лав Джидинского района (векторы 4—8) с составом восточноазиатской щелочной базальтоидной формации, описанной по материалам Т. Томита, А. Н. Заварицким [2], мы находим полную аналогию наших лав с меланократовой частью последней (либуртитовый базанитоид и базальтовый трахибазальт). В лавах трахибазальтовой серии всегда присутствуют оливин, ромбический и моноклинный пироксены (титан-авгит с натрием), средний и основной плагиоклазы, натриево-калиевый полевой шпат и щелочное стекло. В трахибазальтовой серии пород несколько особняком стоит, по резкому отличию в химическом составе, пемза Хурайцакирского вулкана. Ее химический состав соответствует комендиту. Наличие генетической связи с лавами вулкана Хурайцакир дало нам возможность соединить пунктирной линией вариационную кривую трахибазальтовых лав с пемзой (вектор 9), происхождение которой связано с газовым выносом кремния, алюминия и щелочей. Таким образом, происхождение пемзы от базальтоидного расплава, видимо, можно сравнивать с образованиями типа «накипи». Перенос кремния и алюминатов щелочей, возможно, происходит как механическим при вскипании или, вернее, ассоциации гидроксильной группы, так и в растворенном виде; какой из этих двух путей переноса преобладает, трудно пока решить. Нужно ставить соответствующие экспериментальные работы в этой области.

Подобный же тип дифференциации с газовым выносом кремния, алюминатов щелочей, частично железа и магния в верхнюю часть магматической камеры отмечается в вулканах д. Талой (Тункинская система впадин) и Соммы-Везувия (Италия). В лавах последних из щелочей преобладает калий.

3. Серия лав натриевого шихлунита. На вариационной диаграмме линии этих лав на проекциях ASB и CSB по отношению к двум предыдущим сдвинуты резко вправо, т. е. породы, входящие в состав шихлунитовой Бартойской серии, еще больше обогащены щелочами и меньше содержат в своем составе полевошпатовой извести, чем две предыдущие серии лав. Сравнивая химические составы лав натриевых шихлунитов селенгинской Даурии с подобными же лавами четвертичных вулканов Уюнь-Холдонги (Китай), описанных А. Н. Заварицким [2], мы видим и некоторые черты, позволяющие сопоставлять эти столь удаленные друг от друга природные образования (рис. 2). Бартойские натриевые шихлуниты являются еще более щелочными лавами, чем шихлуниты Уюнь-Холдонги, и вариационная линия первых сдвинута на плоскости ASB несколько вправо, а на плоскости CSB — влево от вариационной линии лав Уюнь-Холдонги. Таким образом, натриевые шихлуниты Бартоя являются несколько более щелочными и содержат в своем составе больше полевошпатовой извести. Последнее отражается и на минералогическом составе лав: появляется средний плагиоклаз, отсутствующий в лавах Уюнь-Холдонги. Далее, очень характерно изменение в направлении векторов на проекции CSB. Мы видим, что векторы (рис. 2), соответствующие породам Уюнь-Холдонги, имеют меньший угол с осью SB и значительно короче, чем векторы пород лавового поля р. Бартой и вулкана Барун-Хобол. Последнее связано с отношением между натрием и калием: первые богаче калием ($n = 50$), вторые — натрием ($n = 75$). Такое различие в щелочах сказывается и на минералогическом составе: в лавах Уюнь-Холдонги присутствуют лейцит и натриевый санидин; а в Бартойских шихлунитовых лавах — нефелин, редко псевдолейцит, натриевый санидин и средний плагиоклаз в ассоциации с железистым оливином и моноклинным пироксеном. Следует отметить, что отдельные химические составы шихлунитовых лав Бартойского лавового поля (рис. 2, точки 6—18) не являются однородными, что хорошо видно на петрохимической диаграмме. Эти составы распределялись в виде широкой полосы, в нижней части которой имеются лавы (рис. 2, точки 12, 13, 15), приближающиеся по своему составу к трахибазальтам лавовых полей рек Джиды, Хамней и Дархинтуй. Как видно, вместе с лавами Уюнь-Холдонги (Китай) они образуют своеобразную ассоциацию щелочных лав Азии.

Конечно, в вопросах номенклатуры речь пока можно вести только об аналогиях. С этой точки зрения, бартойские и барунхобольские щелочные основные породы следует именовать натриевыми шихлунитами. Других, более близких нашим, пород мы не знаем.

Для выяснения направленности изменения базальтоидных лав Джидинского субвулканического очага во времени и сопоставления с другими были подсчитаны средние составы лав по выделяемым трем возрастным сериям. Векторы 13, 14 и 15 на диаграмме (рис. 1) отображают средние составы трех серий; вектор 16 отображает средний состав шихлунитов Уюнь-Холдонги. При сравнении среднего состава натриевых шихлунитов (вектор 15) бассейна р. Джиды со средним составом шихлунита Уюнь-Холдонги мы видим почти полную аналогию; отклонения, отмеченные выше, также выступают и в среднем составе их.

Соединив пунктирной линией начальные точки векторов 13, 14 и 15,

мы выразили линейно объективную закономерность изменения состава лав бассейна р. Джиды во времени, причем это смещение серий вулканических пород направлено слева направо (показано стрелкой) как на проекции ASB, так и CSB. Направленность перемещения вариационных линий во времени выражена от оливиновой известково-щелочной через субщелочную к щелочной шихлунитовой серии. При смещении вариационных линий векторы становятся короче и начальные точки их несколько сдвинуты кверху, в сторону ребер тетраэдра SA и SC (показано черной стрелкой), т. е. в направлении снижения температуры в магматическом очаге.

Вариационные кривые на петрохимической диаграмме отображают химический состав пород более или менее одновозрастных лав бассейна р. Джиды (рис. 1). Эволюция химического состава лав в пределах одной вариационной линии отражает основной закон параллелизма кристаллизации и дифференциации магмы. Смещение отображающих составы лав вариационных точек на линии во времени имеет гомодромный характер. Это показали и экспериментальные исследования силикатных систем [4].

Наличие ксенолитов ультраосновных пород и известковистых песчаников в натриевых шихлунитах вулканов р. Бартой и их лавовом поле позволяет предполагать, что при восхождении в верхний структурный ярус земной коры (1—15 км) основной оливиновой известково-щелочной магмы последняя встречала на своем пути ультраосновные (магнезиальные), известково-магнезиальные кислые породы кристаллического фундамента. При этом несомненно происходило «растворение» магмой вмещающих пород рамы и вынос сильных оснований — магния и кальция, что понижало кислотность магмы и сильно повышало активность таких подвижных оснований, как натрий и калий [3]. Ассимиляция пород кровли основной оливиновой известково-щелочной магмой и была главным фактором образования натриевых шихлунитов Бартоя и Барун-Хобола. Конечно, в процессах становления щелочных основных пород описываемого района немалую роль играли и такие факторы, как наличие значительного количества минерализаторов и в первую очередь воды, которая способствует подвижности и концентрации щелочей в определенных объемах магматической камеры, затем режим температуры и давлений, а также длительность процессов перераспределения щелочей в магме и кристаллизационная дифференциация.

Смещение вариационных линий на петрохимической диаграмме (рис. 1) слева направо отображает эволюцию основной известково-щелочной магмы во времени и является таким же закономерным процессом в гетероморфизме основных лав, как и параллелизм кристаллизации и дифференциации при смещении фигуративных точек, отображающих состав лав, в пределах одной вариационной линии. Этот второй тип смещения вариационных линий во времени слева направо обусловлен, как нам представляется, ассимиляцией магмой пород кровли с сильными основаниями (магний, кальций).

Из приведенных материалов легко видеть, что в одном и том же месте, вероятно, из одного и того же (Джидинского) субвулканического магматического очага, в зависимости от геологических условий и длительности процессов становления, могут развиваться различные по химизму серии базальтоидных лав.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Божинский, Четвертичная базальтовая эффузия в долине р. Джиды (Юго-Западное Забайкалье). Изв. АН СССР, сер. геол., № 6, 1941.
2. А. Н. Заварицкий, О вулканах окрестностей Мergenя и их лавах. Сб. посв. акад. В. А. Обручеву, т. 2, Изд. АН СССР, 1939.
3. Д. С. Коржинский, Зависимость активности компонентов от кислотности раствора и последовательность реакции при послемагматических процессах. Геохимия, № 7, 1956.
4. А. Н. Заварицкий, Введение в петрохимию. Изд. АН СССР, 1950.

Г. А. КАЗЕНКИНА

АУТИГЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ ТИТАНА
В УГЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ
(ТУГНУЙСКАЯ ДЕПРЕССИЯ)

Угленосные отложения Забайкалья слагают пониженные части рельефа (депрессии), разобщенные между собой и вытянутые в виде длинных полос, в основном северо-восточного простирания.

Угленосность связана с мощной толщей терригенных пресноводно-континентальных отложений речных, озерных, болотных и переходных между ними фаций. В результате глубокой эрозии угленосные отложения в депрессиях оказались в значительной части смытыми, и их мощность не превосходит 250—350 м. Однако в других районах Забайкалья мощность их превышает 1500 м.

Возраст угленосных отложений за последние годы уточнен на основе флоры и новых находок пресноводных моллюсков и датируется в разных месторождениях от средней юры по нижний мел включительно.

В настоящее время по литологическим признакам угленосный мезозой Забайкалья условно расчленяется на четыре свиты (сверху):

1. Продуктивная (угленосная) свита. Представлена чередованием алевролитов-аргеллитовых пород с подчиненными пачками песчаников, к которым приурочены пласты и линзы углей, преимущественно бурых, реже каменных длиннопламенных и газовых слабоспекающихся;
2. Песчано-алевролитовая (безугольная) свита. Представляет собой чередование песчаников, алевролитов и аргиллитов с редкими линзами и пропластками углистых пород и углей;
3. Базально-конгломератовая свита. Сложена преимущественно крупнообломочными конгломератами с грубозернистым цементом, гравелитами, песчаниками с подчиненными пачками алевролитовых и глинистых пород;
4. Эффузивно-туфогенная свита. Залегает на разнообразных кристаллических породах фундамента, сложена излившимися и пирокластическими породами кислого, среднего и основного ряда, в верхней части через пирокластические породы переходит к вышележащим осадочным свитам.

В районе Тугнуйской депрессии все эти угленосные отложения слагают долину р. Тугнуй и перекрыты почти повсеместно плащом четвертичных отложений. Скважинами колонкового бурения угленосная толща вскрыта полностью (350 м). Литологически указанные отложения сложены разнообразной серией пород: конгломератами, гравелитами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами и углями, связанными с типично континентальными фациями.

Данная статья посвящена описанию аутигенных минералов титана, обнаруженных нами в неметаморфизованных песчаных и алевролитовых породах угленосной толщи Тугнуйской депрессии Западного Забайкалья.

Сведения о нахождении аутигенных минералов титана в обычных, метаморфизованных осадочных породах довольно многочисленны и в отдельных случаях достаточно подробно описаны. В работах одних исследователей [1—7] отмечаются аутигенные минералы титана, возникшие за счет разложения терригенных обломков, содержащих титан.

Большинство этих исследователей образование аутигенных анатаза, брукита, рутила, сфена связывают с разложением зерен лейкоксена. Последний же является, как правило, вторичным продуктом, образовавшимся при изменении терригенных ильменита, сфена, рутила. В других [8—12] говорится о новообразованных титансодержащих минералах, имеющих явную генетическую связь с органическим веществом.

Титан относится к широко распространенным химическим элементам. Среди кларков земной коры он занимает 10-е место, т. е. его больше, чем Р, S, С, N и других элементов, тесно связанных с жизнедеятельностью животных и растительных организмов.

На присутствие Ti в живом веществе указывалось еще в начале XIX в. английским химиком Рисом (G. O. Rees), который качественно обнаружил Ti в золе крови и надпочечников. Позже появился ряд работ, дававших уже количественные определения Ti в золах различных растительных и живых организмов.

Акад. В. И. Вернадский [9] отмечал, что организмы «...как бы выкачивают атомы титана из водных растворов и вводят их в метаболизм химических элементов в живом веществе» и «концентрация титана в организмах ясно указывает, что титан нужен для организма, должен иметь определенные жизненные важные функции».

Ц. Н. Питковская [11] обнаружила вторичные анатаз, брукит, сфен, лейкоксен совместно с каолинитом и обуглившимися растительными остатками в девонских песчаниках Западной Башкирии. Она полагает, что постоянное совместное присутствие указанных минералов с растительными остатками подтверждает генетическую связь этих образований.

Н. В. Ренгартен [12] в песчаниках продуктивной свиты каменноугольного возраста Карагандинского бассейна встретила новообразованные лейкоксен, брукит и анатаз, находящиеся в тесной связи с обугленными растительными остатками. Н. В. Ренгартен считает, что выделения титановых минералов связаны с процессами окисления растительного обугленного материала, из которого выделился титан, первоначально сконцентрировавшийся биохимическим путем в растениях.

Аутигенные минералы титана, встреченные нами, представлены лейкоксеном, брукитом, анатазом, сфеном и рутилом (сагенином). Подавляющая их часть обнаруживает генетическую связь с обугленными органическими остатками. Кроме того, встречаются новообразованные минералы титана, источником которых являются титансодержащие минералы из обломочных зерен.

Указанные новообразованные минералы титана приурочены к песчаным и алевролитовым породам угленосной свиты. Макроскопически это твердые, иногда рыхлые серые, темно-серые, черно-бурые породы, тонко- и косослоистые, иногда массивные, сильно слюистые по плоскостям наслоения, с остатками обуглившейся флоры и тонкоизмельченного углистого детритуса. Кластический материал их слабо отсортирован; форма обломков неправильная, часто остроугольная.

По вещественному составу кластической части песчаники и алевролиты относятся к полимиктовому и аркозовому типам.

Полимиктовые песчаники состоят из обломков пород — эффузивных, кремнистых, глинистых, сланцевых, кварцитовидных, туфов (50—

80%), кварца (10—30%), полевых шпатов (5—25%), слюд, хлоритов, минералов глин (5—20%), минералов тяжелой фракции (0,01 до 0,5%). Кластический материал аркозовых песчаников представлен кварцем (30—60%), полевыми шпатами (30—40%), слюдами и хлоритами (2—10%), обломками пород (5—20%), среди которых преобладают эффузивные и кварцитовидные, минералами тяжелой фракции (0,01—0,7%). Величина обломков, составляющих песчаные породы, колеблется от 0,1 до 0,5 мм.

Кластический материал алевролитов аналогичен вышеописанным песчаным породам. Для них более характерна резко выраженная послойная ориентировка частиц, подчеркнутая расположением обуглившейся органики, пластинками слюд и хлоритов. Величина обломков колеблется в пределах от 0,01 до 0,06 мм.

Указанные породы содержат разнообразные тяжелые минералы: циркон, эпидот, цоизит, хлорит, слюды, роговую обманку, пироксены, сфен, рутил, анатаз, брукит, лейкоксен, окислы железа, пирит, единичные зерна граната и магнетита.

Исследование шлифов и отдельных фракций гравитационного анализа песчаников и алевролитов показало большое количество аутигенных минералов, которые в большинстве случаев являются цементирующим материалом. К ним относятся хлорит, кальцит, каолинит, гидроокислы железа, реже кварц. Больше всего распространена поровая цементация, реже базальная. Часто встречается смешанный тип цементации.

Лейкоксен — наиболее распространенный из новообразованных титансодержащих минералов. Содержание его в тяжелой фракции колеблется от 5 до 70%.

Зерна лейкоксена бесформенные, комковатые, с матовой поверхностью. В проходящем свете они кажутся черными, при скрещенных николях обычно изотропны, иногда буроватые из-за окислов железа. В отраженном свете фарфоровидны, с беловатой окраской. Иногда в них наблюдаются темные неразложенные участки, покрытые как бы пленкой белого ватоподобного вещества. При больших увеличениях под микроскопом можно видеть неразложенные участки сфена и рутила. Этот незаконченный процесс преобразования терригенного сфена и рутила в лейкоксен служит характерным диагностическим признаком при его определении.

В шлифах особенно хорошо заметна приуроченность основной массы зерен лейкоксена к обугленным разложенным органическим остаткам, что, видимо, говорит о генетической их связи. Встречаются также и совершенно изолированные выделения лейкоксена. Как правило, по краям бесформенных масс лейкоксена или внутри их по стенкам полостей вырастают щеточки кристалликов брукита, анатаза, сфена, что хорошо видно на микрофотографиях (рис. 1, 2).

Таким образом, лейкоксен является основным материнским веществом для новообразованных кристаллов брукита, анатаза и сфена. В том случае, когда лейкоксеновая масса нацело замещает терригенный сфен и рутил, сохраняя их огранку, характерных щеточек кристаллов анатаза, брукита и сфена не наблюдается.

Брукит встречается иногда в заметных количествах в тяжелых фракциях в виде прекрасно выраженных кристаллов прямоугольного габитуса, а также в виде квадратных табличек, развитых по граням пинакоида (010), и кристаллов с недоразвитыми гранями. Величина кристаллов колеблется от 0,007 до 0,06 мм. Они бесцветные, бурые, желтоватые. Окрашенные разности обладают слабым плеохроизмом от бледно-желтого до оранжевого. На некоторых кристаллах хорошо видна

вертикальная штриховка по грани (010), что не наблюдается у анатаза, и два перпендикулярных направления спайности, параллельных призме и пинакоиду. В скрещенных николях брукит проявляет интерференционную окраску высшего порядка, изменяющуюся от синих, зеленых до малиновых цветов интерференции. Все кристаллы брукита обладают очень высоким рельефом и сильной дисперсией.

Особенно сильное скопление аутигенных кристаллов брукита наблюдается в шлифах песчаных пород. Их можно видеть в микротрещинках и порах непосредственно на чешуйках хлорита, биотита, обломках полевых шпатов, кварца, а также в виде микроскопических жеодок, что хорошо видно на микрофотографиях (рис. 3).

Анатаз встречается в сравнительно небольших количествах в тяжелых фракциях в виде хорошо ограненных пинакоидальных и призматических кристаллов, а также кристаллических агрегатов. При этом срastaются самые разнообразные по величине и форме кристаллы.

Цвет минерала варьирует от лимонно-желтого до бурого. Большинство кристаллов мутные, вероятно, от налета пылевидного лейкоксена. Контуры резкие. Погасание прямое, двупреломление высокое. Многие зерна содержат включения бурого и темного непрозрачного вещества. При скрещенных николях кристаллы с гранями пинакоида (001) большей частью изотропны. В других сечениях наблюдается интерференционная окраска высшего порядка. Размер зерен колеблется от 0,008 до 0,07 мм.

Обильное скопление аутигенных кристаллов анатаза наблюдается в шлифах песчаных и алевролитовых пород, где они вырастают, наряду с брукитом, из лейкоксеновых зерен, образуя микроскопические жеодки (рис. 4). Они нарастают также на стенках пор и микротрещинах, на чешуйках хлорита, слюды, обломках кварца.

Свободное пространство жеодок выполнено более поздними аутигенными каолинитом или кварцем. Часто можно видеть, как правильные кристаллики брукита и анатаза скопляются внутри жеодки, цементируясь каолинитом, иногда кварцем.

Сфен отмечается в виде единичных зерен в тяжелых фракциях. В некоторых случаях тяжелая фракция обогащена на 40% терригенными кристаллами сфена в виде бесформенных остроугольных загрязненных обломков.

Встреченные в тяжелых фракциях единичные мелкие кристаллики аутигенного сфена, размером от 0,005 до 0,03 мм имеют или превосходную кристаллографическую ограненность с острыми углами (конвертообразный габитус) или мелкие зерна с недоразвитыми гранями, что в сочетании со свежестью самих минералов исключает возможность их обломочного происхождения. Кристаллы бесцветны или желтоватого и буровато-серого цвета. У последних разновидностей заметен слабый плеохроизм. Двупреломление очень высокое. Вследствие большой дисперсии оптических осей наблюдается неполное погасание с появлением индигово-синих и пурпуровых цветов.

В некоторых шлифах особенно хорошо видно, как конвертообразные кристаллики сфена вырастают из лейкоксеновых зерен (рис. 3).

Кроме того, в двух случаях наблюдался аутигенный сфен конвертообразного облика, нарастающий на терригенные зерна того же минерала (рис. 5).

Сагениит встречается в виде единичных зерен. Это сетчатые сростки игольчатого рутила, пересекающиеся под углом 60°. Сагениит занимает центральные участки измененных пластинок терригенного биотита или полностью их заменяет, что хорошо видно на микрофотографиях (рис. 6). В исследованных нами породах, богатых биотитом,

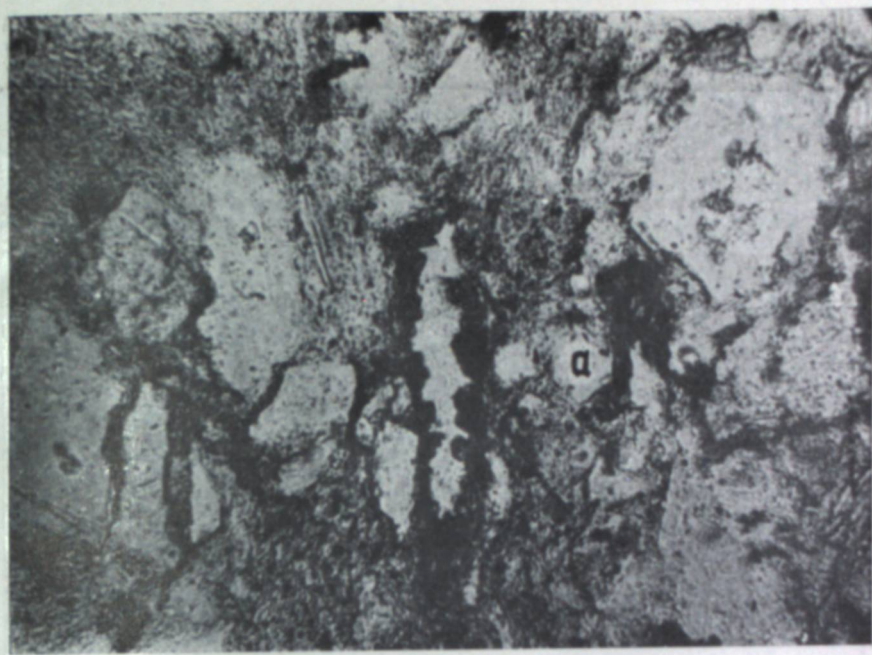


Рис. 1. Жеода минералов титана в окисленном углистом остатке. Центральная часть жеоды выполнена тонкокристаллическим каолинитом (а). Видны остатки углистого материала (параллельные черные полоски). Николи II $\times 160$.

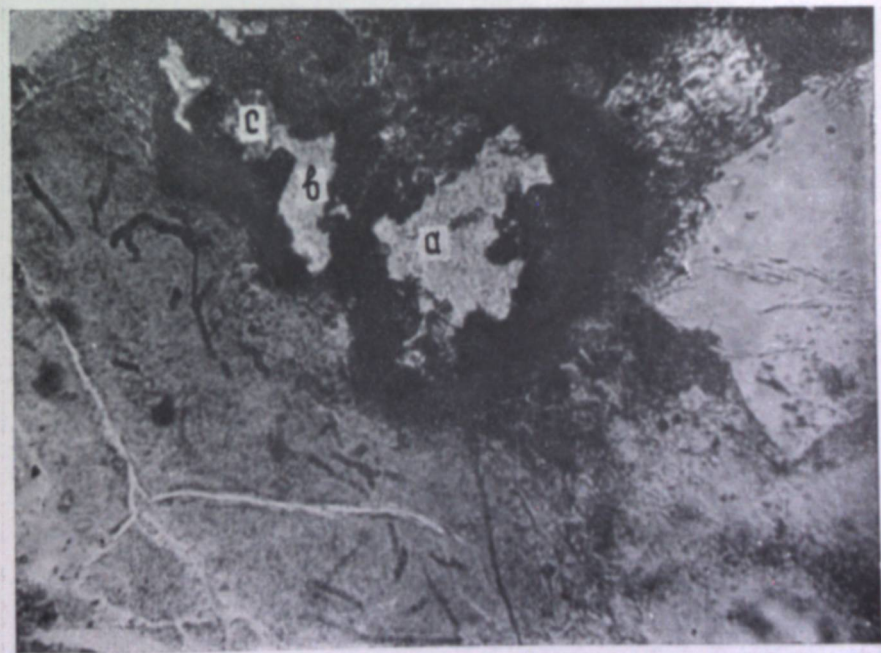


Рис. 2. Две жеоды минералов титана в хлоритовом цементе. Большая жеода выполнена тонкокристаллическим каолинитом (а), меньшая — каолинитом (е) и кристаллом кварца (с). Николи II $\times 160$.



Рис. 3. Жеода кристаллов брукита и сфена в углистом остатке. В центре жеоды мелкозернистый кальцит (в) и оторвавшийся кристалл сфена (а). Николи II $\times 160$.

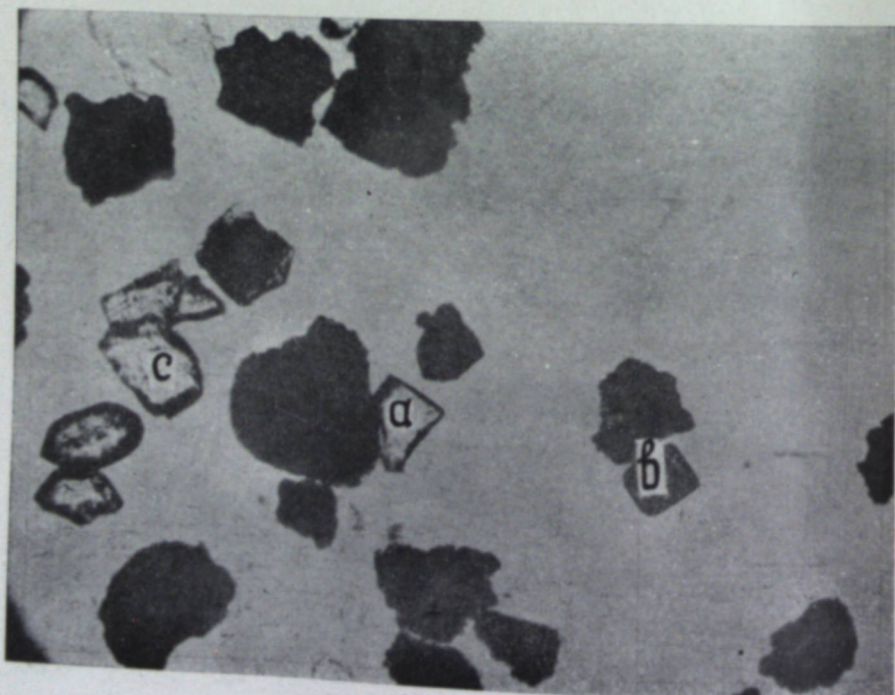


Рис. 4. Темные зерна — лейкоксен; а, в, с — кристаллы анатаза. Николи II $\times 160$.

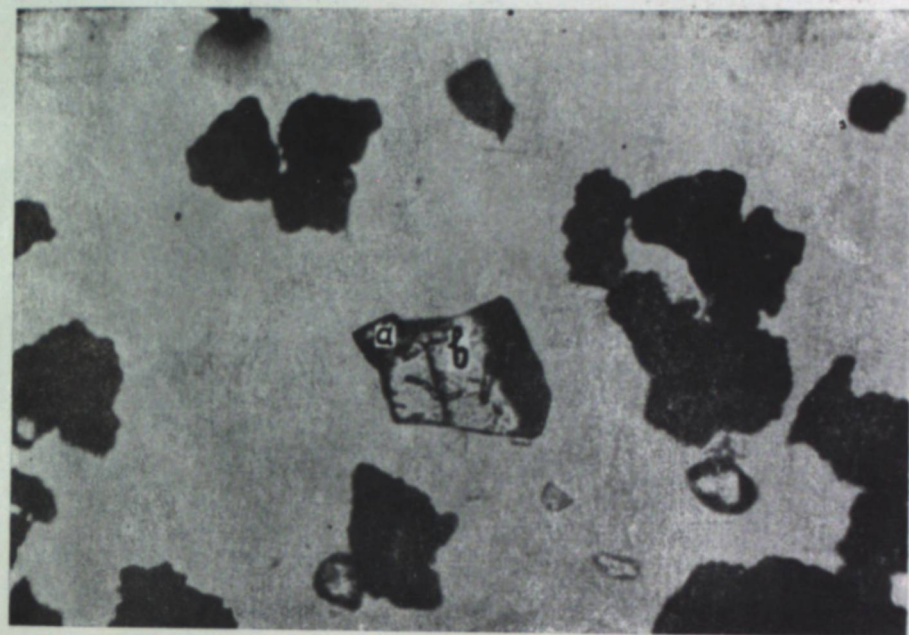


Рис. 5. Новообразованный конвертообразный кристалл сфена (а), нарастающий на терригенном сфене (а). Николи II $\times 160$.

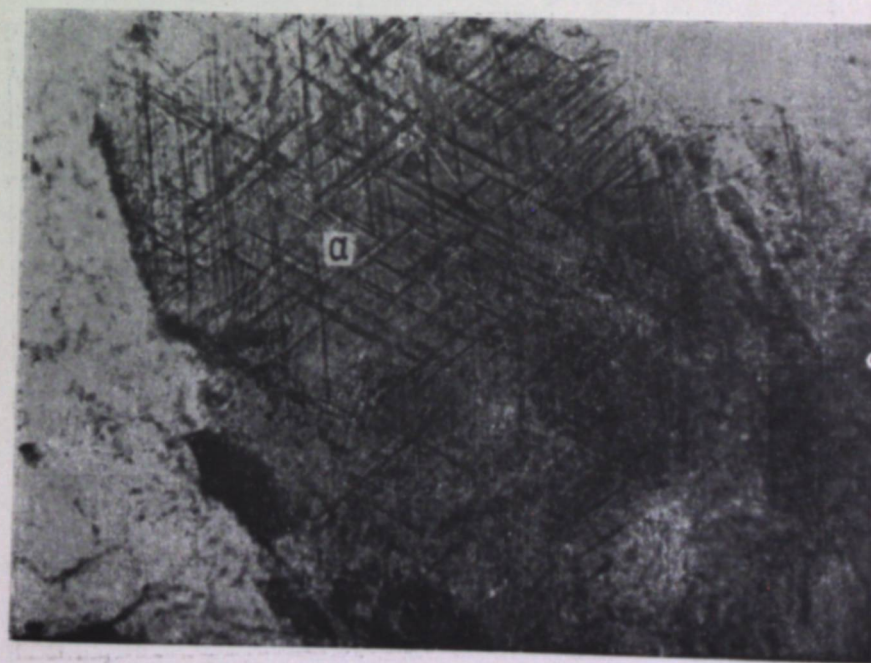


Рис. 6. Сафениит (а) в хлоритизированном биотите. Николи II $\times 160$.

наблюдаются всевозможные переходы от биотита к хлориту, с постепенным изменением всех его свойств.

Часто можно видеть полную псевдоморфозу хлорита по биотиту. В этих условиях образуются мельчайшие кристаллики рутила, представленные в наших породах сагенимом.

Несколько слов о взаимоотношениях описанных аутигенных минералов с цементом.

В песчаниках и алевролитах, где цементом служит аутигенный хлорит в виде каемок обрастания или выполнения порового пространства, анатаз и брукит обычно развиваются непосредственно на чешуйках хлорита. Встречающиеся жеодки аутигенных минералов титана выполнены каолинитом или кварцем. В этом случае первым выделился хлорит, после него — минералы титана и потом уже каолинит и кварц. В породах с каолинитовым цементом наблюдается особенно обильное выделение аутигенных титаносодержащих минералов. Каолинитовый цемент, видимо, мог образоваться за счет перенесенных продуктов разрушения коры выветривания, которые впоследствии могли дать материал для аутигенного каолинита. В некоторых участках породы минералы титана вырастают на стенках пор; в этом случае первыми выделились эти минералы, а потом уже каолинитовый цемент, заполняющий поры.

Приуроченность новообразованных минералов титана к окисленным органическим остаткам говорит о некоторой их генетической связи, однако условия выпадения минералов титана в настоящее время еще не являются достаточно ясными. Общеизвестно, что время образования аутигенных минералов зависит от того, когда жидкая фаза песчаной и алевроитовой породы достигает необходимых для этого оптимальных условий (определенных величин pH , rH , p , t , концентрации и качественного состава компонентов).

Богатые кислородом пресные воды, в которых отлагались указанные выше песчаные и алевроитовые породы, способствовали развитию процессов окисления органического углистого вещества. Окисление последнего, по всей вероятности, приводило к выделению титана, который в зависимости от степени окислительного потенциала сразу минерализовался на месте углистого вещества в виде жеодок или же мигрировал на небольшое расстояние от последнего. Не исключена возможность, что титан был привнесен частично в бассейны и в виде коллоидных растворов, вместе с другими элементами (Al, Si и Fe).

Если инфильтрованные воды содержали в себе титан, необходимый для образования лейкоксена, брукита, анатаза и сфена, то последние, видимо, могли выделиться в местах разложенного углистого вещества, содержащего избыток кислорода, как в виде жеодок, так и в виде самостоятельных кристаллов.

Из работы Б. Б. Полюнова [8] известно, что среда для выпадения окислотитановых минералов должна быть слабощелочной ($pH > 7$). Установленная нами последовательность выделения вторичных минералов говорит о том, что с течением времени условия менялись от щелочных к кислым. Выделение минералов титана обычно следует за образованием хлорита ($pH \approx 8,3$) и предшествует образованию каолинита и кварца ($pH \approx 5-7$).

Интересно отметить, что там, где органические остатки не подвержены окислению и разложению, новообразованных минералов титана не наблюдается. Очевидно, что при недостатке кислорода титан выделялся из растворов и органического вещества в более низших формах окисления и выносился с растворами, не минерализуясь на месте.

В заключение отметим, что наряду с указанными новообразованными минералами титана встречаются и такие, источником которых являются титансодержащие минералы из обломочных зерен.

Восточно-Сибирский

филиал Академии наук СССР

Поступила в редакцию

4/X 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Д. Преображенский, Об аутигенных минералах и минералообразовании. Тр. Ин-та геол. наук, вып. 40, петрограф. серия (13), 1941.
2. Н. К. Логвиненко, К литологии и палеогеографии каменноугольных отложений северо-востока Донбасса. ДАН СССР, т. 42, № 5, 1944.
3. Д. П. Сердюченко, Л. В. Добровольская, О некоторых минеральных новообразованиях в осадочных породах. ДАН СССР, т. 69, № 3, 1949.
4. М. Е. Яковлева, Петрографическое исследование глин Трошинского месторождения на восточном склоне Среднего Урала. Вопросы петрографии и минералогии, Изд. АН СССР, вып. 1, М., 1953.
5. С. И. Бенеславский, Титановые минералы в бокситах. Изв. АН СССР, сер. геол., № 2, 1953.
6. Ю. А. Ходак, Вторичные минералы нижнекембрийских отложений Алданского района Якутской АССР. Тр. Геол. ин-та АН СССР, вып. 5, 1956.
7. А. Г. Коссовская, В. Д. Шутков, Характер и распределение минеральных новообразований в разрезе мезо-палеозойских отложений Западного Верхоянья. Тр. Геол. ин-та АН СССР, вып. 5, 1956.
8. Б. Б. Полюнов, Л. Б. Тумилович, Титан в коре выветривания. Акад. Вернадскому к 50-летию научн. и педагогич. деятел., ч. 1, Геохимия. Изд. АН СССР, 1936.
9. В. И. Вернадский, Заметка о титане в биосфере. Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, вып. IV, 1937.
10. Ш. Е. Каминская, К нахождению титана в организмах. Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, IV, 1937.
11. Ц. Н. Питковская, О геохимических фациях живецкого и франского времени на территории Западной Башкирии. Геол. сб., т. II (V), Л.—М., 1953.
12. Н. В. Рейгартен, Минералы титана в угленосных осадочных породах. Тр. Геол. ин-та, АН СССР, вып. 5, 1956.

Т. В. ЗАБОЛОЦКИЙ

ВЛИЯНИЕ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ НА ОКИСЛЕНИЕ АЗОТА В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ РАЗРЯДЕ

Вопрос о влиянии металлов, их окислов и различных твердых веществ, находящихся в зоне разряда или вносимых газами, на газоразрядный процесс и на выход продукта освещен в литературе недостаточно. Известна попытка Ивamoto применить комбинированное действие разряда и катализатора для различных реакций [см. 1]. В. П. Лебедев, Ю. В. Филиппов и Н. И. Кобзев [2] проводили сенсibilизированный синтез и разложение аммиака в тлеющем разряде. Имеется также сообщение в патентной литературе об успешном получении синтетического аммиака при совместном действии высокочастотного поля и катализатора [3].

В данной статье мы представляем результаты опытного изучения влияния твердой фазы на процесс окисления азота в разряде высокой частоты. Опыты проводились при атмосферном давлении в описанной нами ранее [4, 5] высокочастотной установке, в капиллярных и цилиндрических трубках.

В качестве твердой фазы применялись фарфор, медные стружки, обожженный каолин, содержащий окислы меди, железа и калия, а в качестве примесей в газах — порошки окиси меди, магния, кальция, железа.

Каолин, содержащий добавки, готовился таким образом: предварительно измельченный сухой каолин размешивался в растворах нитратов железа и меди, взятых в количествах, составляющих 10% к весу сухого каолина. Применялись также двойные добавки (медь — калий); в этом случае к указанным растворам прибавлялся еще нитрат калия — 2% к весу сухого каолина. Из размешанной пластической массы каолина в растворе готовились гранулы диаметром 1—2 мм, которые после сушки прокаливались до полного удаления окислов азота.

Полученный таким образом каолин помещался в разрядную трубку.

Когда для опыта применялась капиллярная трубка, установленная вертикально, твердая фаза помещалась так, как показано на рис. 1. При этом верхний электрод подводился к капилляру и погружался в твердую массу, нижний (подвижный) электрод опускался на заданное расстояние от капилляра. Разряд осуществлялся в этом случае в нижней части трубки, так как воздух поступал снизу и проходил сначала зону разряда, а затем зону катализатора.

Когда применялись цилиндрические трубки, они также устанавливались вертикально. Твердая фаза располагалась на керамической решетке, укрепленной в середине трубки (рис. 2). Электроды при этом располагались различно. В варианте А верхний электрод закреплялся вплотную к керамической решетке, нижний — был подвижным; воздух поступал снизу. Разряд осуществлялся «до твердой фазы». В варианте Б нижний электрод закреплялся неподвижно у решетки, верхний — поднимался на

заданное расстояние. Разряд осуществлялся «в зоне твердой фазы» (рис. 2).

Опыты с применением порошков проводились таким образом, что тонко измельченный порошок помещался в хлор-кальциевую трубку, заполненную стеклянной ватой, из которой он, увлекаемый воздушным потоком, поступал в разрядную капиллярную трубку.

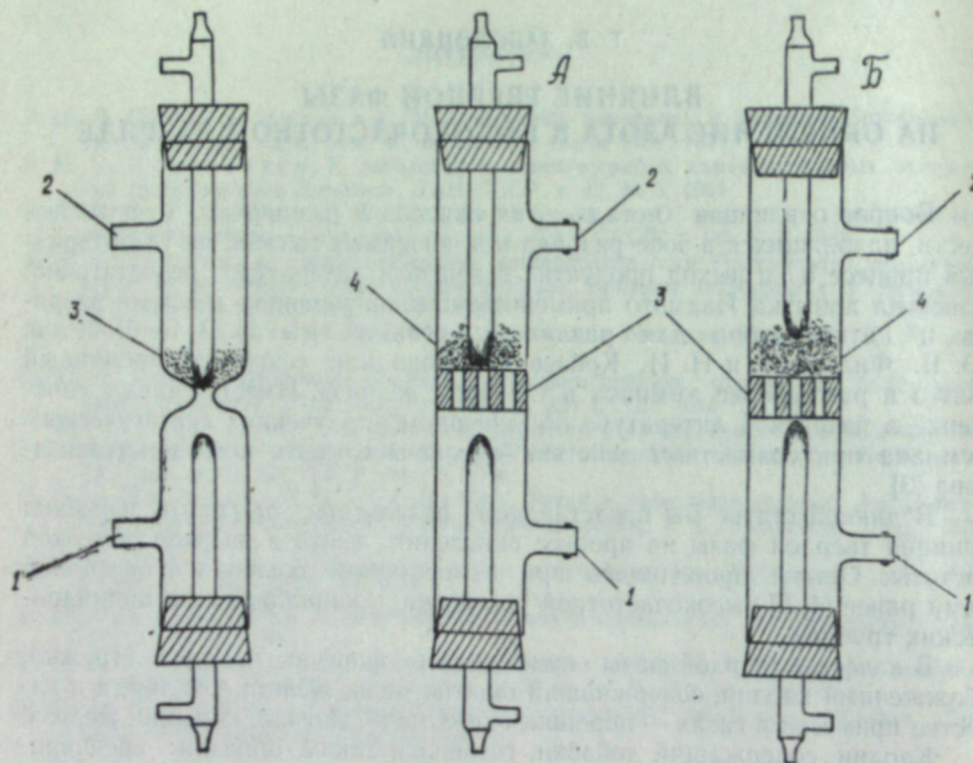


Рис. 1. Капиллярная трубка.

1, 2 — выход газа, 3 — твердая фаза.

Рис. 2. Цилиндрическая трубка.

1, 2 — выход газа, 3 — решетка, 4 — твердая фаза.

Степень запыленности поступающего в разрядную трубку газа порошками регулировалась скоростью газового потока и была относительно небольшой.

При добавке к газу порошковых примесей наблюдалось изменение окраски свечения разряда соответственно с окраской, свойственной парам применяемых металлов.

Влияние твердой фазы. Результаты опытов по выявлению влияния твердой фазы на окисление азота в высокочастотном разряде в капиллярной трубке представлены в табл. 1. В качестве твердой фазы здесь применялись мелкие (1—2 мм в поперечнике) гранулы фарфора и кусочки медной стружки.

Опыты проводились при различных расстояниях между электродами (1) и постоянной скорости газового порошка ($v = 150$ мл/мин) (см. рис. 1).

Из табл. 1 видно, что в присутствии фарфора выход окиси азота снижается незначительно, в то время как при наличии в трубке медных стружек наблюдается значительное снижение выхода окиси азота, которое увеличивается с уменьшением межэлектродного пространства.

Таблица 1

Влияние фарфора и медных стружек на выход окиси азота (в капиллярной трубке)

l, мм	Без твердой фазы	Твердая фаза:	
		фарфор	медные стружки
	NO, %	NO, %	NO, %
5	5,1	4,5	3,1
10	8,8	8,4	3,7
15	8,5	7,5	3,8
20	8,2	7,1	5,4

В табл. 2 указаны результаты опытов, проведенных в цилиндрической трубке с расположением электродов по вариантам А и Б. (см. рис. 2), при постоянной скорости газового потока ($V = 150$ мл/мин) и в присутствии твердой фазы следующих составов: каолин + CuO; каолин + Fe₂O₃; каолин + CuO + K₂O; каолин + Fe₂O₃ + K₂O; чистый каолин.

Таблица 2

Влияние твердой фазы на выход окиси азота (в цилиндрической трубке)

l, мм	Без твердой фазы	Твердая фаза									
		чистый каолин		каолин + CuO		каолин + Fe ₂ O ₃		каолин + CuO + K ₂ O		каолин + Fe ₂ O ₃ + K ₂ O	
		А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
5	3,5	3,3	1,9	3,8	Следы	3,2	Следы	3,2	Следы	3,1	Следы
10	3,6	4,0	2,2	3,1	Следы	3,9	Следы	3,9	Следы	3,4	Следы
15	4,0	3,7	3,1	4,1	0,9	2,5	Следы	4,0	Следы	3,3	Следы
20	3,8	3,8	3,5	4,2	1,4	3,9	1,4	4,3	Следы	2,1	0,5

Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что чистый каолин, содержащий окислы металлов, не оказывает заметного влияния на процесс, если газовый поток поступает после разряда (вариант А) — разряд «до твердой фазы».

При осуществлении разряда «в зоне твердой фазы» (вариант Б) результаты опытов изменяются. Чистый каолин и в этом случае не оказывает большого влияния на процесс; каолин, содержащий примеси окислов металлов, действует резко отрицательно: выход окиси азота падает до ничтожных значений. При этом с увеличением межэлектродного расстояния содержание окиси азота в газе начинает медленно нарастать.

Анализ приведенных результатов окисления азота в высокочастотном разряде в присутствии твердой фазы как в капиллярных, так и в цилиндрических трубках показывает, что реакция окисления протекает главным образом в светящейся зоне.

Во всех случаях, когда в разрядной зоне находились металлы или их окислы, в чистом виде или инкрустированные в каолине, наблюдалось резкое снижение выхода окиси азота, тогда как в присутствии керамики этого не происходило.

Последнее можно объяснить дезактивацией активных молекул азота и кислорода вследствие их тушения, либо разрушением уже образовавшихся молекул окиси азота на металлической поверхности твердой фазы.

Увеличение выхода окиси азота с ростом межэлектродного расстояния в варианте *Б* говорит в пользу первого объяснения, так как образовавшиеся в светящейся зоне молекулы окиси азота, по-видимому, в основной массе сохраняются, так же как и в варианте *А*, проходя через разогретую твердую фазу.

Влияние порошковых примесей. В табл. 3 представлены результаты опытов, полученных при применении порошков окислов меди, магния, кальция и металлического железа. Опыты выполнялись в капиллярной трубке, при $l = 15$ и 30 мм и различных скоростях (V , л/час), при таких же как и ранее, медных охлаждаемых электродах.

Таблица 3

Влияние порошковых примесей на выход окиси азота в капиллярной трубке при различных скоростях газового потока

V, л/час	Газ без примесей		Наличие порошковых примесей							
			окись меди		окись магния		окись кальция		порошок железа	
	NO, %	G	NO, %	G	NO, %	G	NO, %	G	NO, %	G
При $l = 15$ мм										
88,8	2,8	1,0	3,0	1,2	2,8	1,0	3,2	1,1	3,4	1,2
122,4	2,5	1,2	2,5	1,2	2,3	1,1	1,8	0,9	—	—
222,0	2,4	2,1	1,8	1,6	2,0	1,7	1,6	1,4	2,2	1,8
300,0	1,8	2,2	1,6	1,9	1,8	1,8	1,4	1,7	2,1	2,3
426,0	1,4	2,4	1,4	2,4	1,2	2,0	1,0	1,7	1,2	2,0
480,0	1,3	2,5	—	—	1,1	2,1	—	—	—	—
При $l = 30$ мм										
88,8	3,5	0,8	4,8	1,1	4,9	1,1	3,9	0,9	2,7	0,6
122,4	3,1	1,0	3,4	1,1	4,5	1,4	—	—	—	—
222,0	2,5	1,4	—	—	2,6	1,5	2,0	1,1	2,2	1,2
300,0	2,1	1,6	2,5	2,0	2,1	1,6	—	—	—	—
426,0	1,5	1,7	2,0	2,2	1,1	1,3	0,8	0,9	1,9	1,5

В этой же таблице указаны результаты контрольных опытов, проведенных без добавления порошковых примесей, а также значения энергетических выходов окиси азота в молях, вычисленные относительно подведенной к разряду энергии в киловатт-часах. Из сравнения данных этой таблицы можно сделать вывод, что примеси к воздуху порошков окислов меди, магния, кальция и железа в небольших количествах не оказывают влияния на окисление азота в высокочастотном разряде.

Выводы

1. Изучалось влияние твердой фазы в виде фарфора, медной стружки, специально приготовленного каолина и порошковых примесей на выход окиси азота в высокочастотном разряде в капиллярных и цилиндрических трубках.
2. Показано, что в капиллярных трубках, при расположении твердой фазы в виде фарфора вне зоны разряда, не происходит заметного изменения выхода окиси азота, тогда как медные стружки резко его снижают.
3. Установлено, что в цилиндрических трубках, при расположении в зоне разряда специально приготовленного каолина, содержащего окислы металлов, происходит резкое снижение выхода окиси азота, уменьшающееся с увеличением межэлектродного пространства. Такое же

расположение в трубках чистого каолина незначительно сказывалось на выходе окиси азота.

4. При расположении твердой фазы в цилиндрических трубках вне зоны разряда значительного изменения выхода окиси азота не наблюдалось.

5. Из опытных данных следует, что образование окиси азота происходит преимущественно в светящейся зоне разряда и что снижение выхода окиси азота, когда в ней находится поверхность металлов или их окислов, происходит вследствие дезактивации возбужденных частиц.

6. Запыление газа, поступающего в разрядный промежуток, порошками металлов и окислами заметного влияния на выход окиси азота не оказывает.

Западно-Сибирский
филиал Академии наук СССР

Поступила в редакцию
10/X 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Б. Шехтер, Химические реакции в электрическом разряде. Изд. ОНТИ, 1935.
2. В. П. Лебедев, Ю. В. Филиппова, Н. И. Кобозев. ЖФХ, XXIV, 545, 1950; XXIV, 1009, 1950.
3. Патент US, 2, 497, 514, 1950. Chem. Abstr., 44, 4643, 1950.
4. Т. В. Заболоцкий, Химическая наука и промышлен., № 6, 680, 1956.
5. Т. В. Заболоцкий, Изв. вост. филиалов АН СССР, 1, 70, 1957.

Н. Л. ВАСИЛЬЕВА

ПРИМЕНЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ РЕАКТИВОВ В АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТАНТАЛА С РОДАМИНОМ Б В ЭТИЛАЦЕТАТНЫХ РАСТВОРАХ

Органические реактивы находят все более широкое применение в аналитической химии. Особенно велико их значение для колориметрического определения малых количеств элементов.

Большинство цветных реакций, применяемых в колориметрии, основано на комплексообразовании с органическими реагентами. Для колориметрических определений часто используются также цветные твердофазные реакции, в которых изменение цвета раствора связано с выделением нерастворимых окрашенных соединений. Эти реакции представляют собой простое солеобразование и протекают между органическими реагентами и тяжелыми неорганическими анионами и катионами [1].

Нами изучены цветные твердофазные реакции тантала с органическими красителями родамином Б и метиленовой синью и разработана методика колориметрического определения тантала с родамином Б в этилацетатных растворах.

Твердофазные реакции тантала с родамином Б и метиленовой синью впервые описаны М. Я. Шапиро [2]. Эти красители в слабокислых растворах образуют с фторотанталатным анионом TaF_7^{2-} окрашенные осадки: фиолетовый — с родамином Б и серо-синий — с метиленовой синью. Реакции достаточно специфичны: их выполнение возможно в присутствии значительных количеств титана и ниобия, во много раз превышающих содержание в растворе тантала.

Твердофазные реакции тантала с родамином Б и метиленовой синью известны только как качественные реакции на тантал. Однако в силу большой специфичности этих реакций представлялось весьма заманчивым применить их также для количественного определения тантала.

Трудность использования цветных твердофазных реакций для колориметрического определения элементов заключается в том, что изменение окраски раствора в таких реакциях вызывается не образованием растворимого окрашенного соединения, а связано с выделением осадка, поэтому колориметрирование оказывается возможным только в присутствии стабилизирующих веществ. Но и при наличии стабилизатора вряд ли можно добиться точности определения, так как даже при соблюдении строго идентичных условий трудно приготовить суспензии соединений тантала с красителями с одинаковой степенью дисперсности и, следовательно, получить хорошую воспроизводимость интенсивности окраски растворов. Кроме того, колориметрическое определение тантала с рассматриваемыми красителями затрудняется тем, что растворы самих красителей имеют очень интенсивную окраску.

Лучшим здесь может быть метод, основанный на извлечении окрашенного соединения тантала каким-либо несмешивающимся с водой органическим растворителем, при условии, чтобы большая часть реагента оставалась в водной фазе.

В связи с этим нами изучено отношение красителей и их соединений с танталом к экстрагированию неводными растворителями. Были испытаны различные органические растворители: нейтральные углеводороды (бензол, толуол), галоидопроизводные углеводородов (четырёххлористый углерод, хлороформ, дихлорэтан), спирты (амиловый, изоамиловый и бутиловый), простой диэтиловый эфир, сложные эфиры (этил- и амилацетат) и, наконец, кетоны (метилпропилкетон). Водная суспензия

Таблица 1

Отношение родамина Б, метиленовой сини и их окрашенных соединений с танталом к экстрагированию органическими растворителями

Экстрагент	Экстрагируемость			
	родамина Б	соединения тантал-родамин Б	метиленовой сини	соединения тантал-метиленовая синь
Бензол	—	—	—	—
Толуол	—	—	—	—
Четырёххлористый углерод	—	—	—	—
Дихлорэтан	—	—	—	—
Амиловый спирт	полная	полная	полная	полная
Бутиловый »				
Изоамиловый »				
Этиловый эфир	—	—	—	—
Этилацетат	Частичная	Достаточно полная	—	флотируется
Амилацетат				
Метилпропилкетон	—	—	—	—

окрашенных соединений тантала была приготовлена добавлением 1 мл 0,1% водного раствора красителя к 5 мл 1 н. раствора щавелевой кислоты, содержащего 0,1 мг Ta_2O_5 и небольшое количество фторида аммония. Количество добавленного экстрагента составляло половину объема исходного оксалатного раствора.

Опыты (табл. 1) показывают, что в рассматриваемых условиях красители и их соединения с танталом большинством органических жидкостей не экстрагируются. Спирты полностью извлекают из водной фазы и краситель, и его соединения с танталом, так что разделение не достигается. Отделить тантал от избытка красителя удалось только при экстрагировании сложными эфирами и кетонами. При этом соединение тантала с метиленовой синью флотируется данными органическими жидкостями, соединение же тантала с родамином Б растворяется в них.

Поскольку работать с флотированными осадками неудобно, в дальнейших исследованиях в качестве реагента для колориметрического определения тантала применялся только родамин Б.

Чувствительность реакции тантала с родамином Б в органическом слое оказалась невысокой, потому что при экстрагировании краситель также частично переходил в водную фазу. Для удаления соизвлеченного красителя органический слой обрабатывался водой и серной кислотой, различной концентрации. Более совершенное разделение наблюдалось при действии 10% раствора серной кислоты на этилацетатные растворы, тантал-родамин Б соединения, так как при этом реэкстрагировался только краситель, окрашенное же соединение тантала почти

полностью оставалось в органическом слое и сообщало ему розовую окраску.

После сернокислотной обработки, окраска органического слоя хорошо различалась даже при содержании менее 0,010 мг Ta_2O_5 в 5 мл исходного оксалатного раствора. Интенсивность окраски была пропорциональна концентрации тантала.

Полнота извлечения тантала в этилацетатный слой зависит от концентрации щавелевой кислоты и фторида аммония в водной фазе. Оптимальной для осаждения тантал-родамином Б соединения и его экстрагирования в этилацетатный слой является концентрация щавелевой кислоты от 0,5 до 1 н. Увеличение содержания фторида в растворе способствует осаждению тантала родамином Б, но извлечение тантал-родамином Б соединения этилацетатом возможно только при строгой дозировке ионов фтора в водной фазе (табл. 2).

Таблица 2

Влияние концентрации ионов фтора на образование тантал-родамином Б соединения и его извлечение этилацетатом

Нормальность раствора щавелевой кислоты	Содержание Ta_2O_5 в 5 мл щавелево-кислого раствора, мг	Добавлено капель насыщенного раствора NH_4F	Окраска щавелево-кислого раствора (визуально)	Оптическая плотность этилацетатного раствора тантала $D = \lg \frac{I_0}{I}$
0,760	0,100	—	розовая	0
0,760	0,100	1		0,150
0,760	0,100	2	слабо-фиолет.	0,390
0,760	0,100	3	фиолетовая	0,400
0,760	0,100	4		0,170
0,760	0,100	5		0,090

На полноту извлечения тантала этилацетатом большое влияние оказывает температура. С ее повышением увеличивается растворимость тантал-родамином Б соединения в водной фазе, в связи с чем его переход в органический слой понижается. Для получения воспроизводимых результатов при определении тантала с родамином Б анализ следует проводить в одних и тех же температурных условиях и по возможности избегать нагревания растворов. Нами данные получены при температуре 14—15°.

Достаточно полное извлечение тантала в этилацетатный слой наблюдается при добавлении экстрагента в количестве, равном половине объема исходного оксалатного раствора. Органическая и водная фазы хорошо разделяются, так что для отстаивания смеси вполне достаточно 5 минут. После отделения от водной фазы этилацетатный слой промывается равным объемом 10% серной кислоты, последовательно в две порции. При такой обработке пустая проба — фон для колориметрического сравнения окрасок — получается почти бесцветной.

Растворы тантал-родамином Б соединения в этилацетате достаточно устойчивы. Окраска органического слоя стабильна в течение шести и более часов, если предупредить испарение этилацетата.

Растворы тантал-родамином Б соединения в этилацетате имеют резко выраженный максимум поглощения при $\lambda = 556$ м.м.

Измерение оптической плотности этилацетатных растворов окрашенного тантал-родамином Б соединения проводилось в фотоэлектрическом колориметре ФЭК = М с зеленым светофильтром. В качестве нулевого служил раствор, содержащий те же реактивы, что и испытуемый раствор, за исключением германия.

Установлено, что на участке малых концентраций ($c < 0,060$ мг Ta_2O_5) оптическая плотность раствора линейно согласуется с концентрацией (рис. 1).

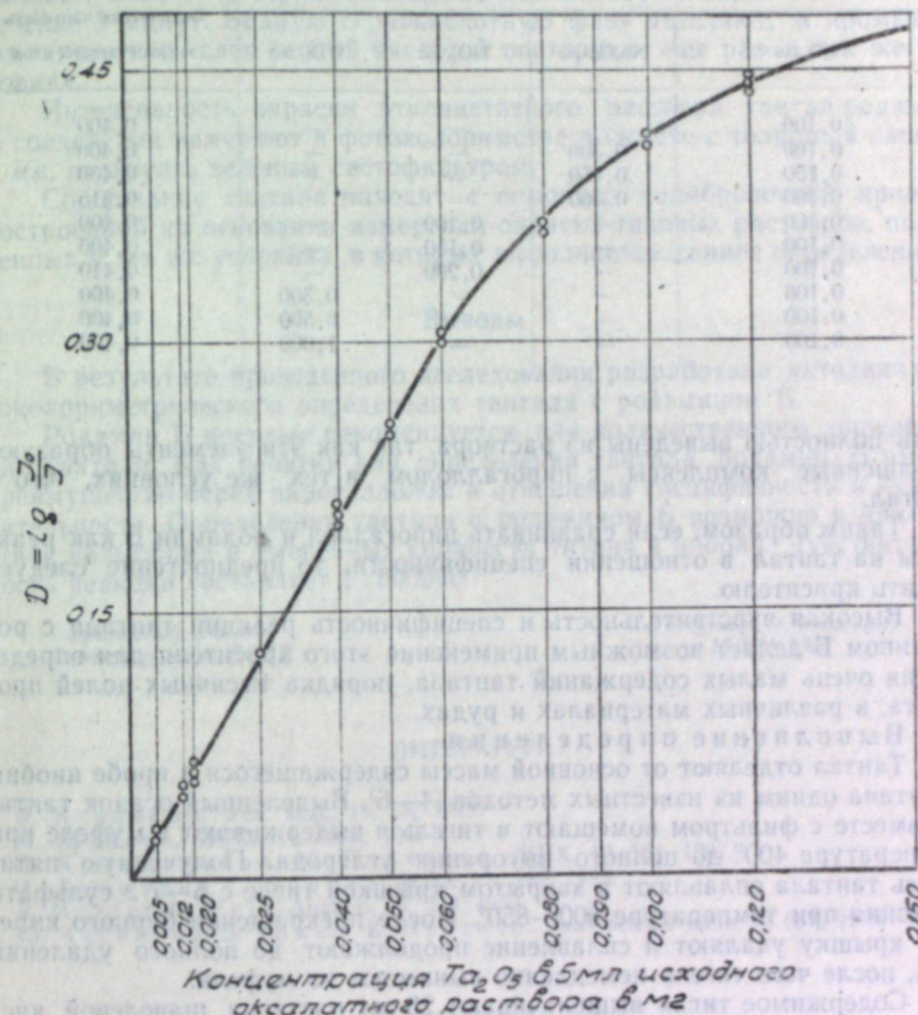


Рис. 1. Кривая зависимости оптической плотности тантал-родамином Б соединения от концентрации тантала (в 0,75 н щавелевой кислоты).

Чувствительность колориметрической реакции тантала с родамином Б довольно высока; пользуясь калибровочной кривой, можно определить тантал, начиная с 0,005 мг Ta_2O_5 в 5 мл исходного оксалатного раствора.

Было изучено отношение к родамину Б наиболее часто сопутствующих танталу элементов — ниобия, вольфрама и титана. Эти элементы, как известно, трудно отделимы от тантала и в каком-то количестве могут находиться в оксалатных растворах при осаждении тантала родамином Б. Исследования показали, что присутствие в 5 мл исходного оксалатного раствора 0,450 мг Nb_2O_5 , 0,150 мг TiO_2 , 1 мг WO_3 и незначительного количества железа практически не отражается на результатах определения тантала (табл. 3).

Известно, что при колориметрическом определении тантала пирогалловой реакцией по Кривошлыкову [3] титан и вольфрам должны

Таблица 3

Результаты определения тантала в присутствии посторонних элементов

Сохранение в 5 мл окислительного раствора				Оптическая плотность этилацетатного слоя
Ta ₂ O ₅ , мг	Nb ₂ O ₅ , мг	PbO, мг	WO ₃ , мг	
0,100	—	—	—	0,400
0,100	0,300	—	—	0,400
0,100	0,450	—	—	0,400
0,100	0,500	—	—	0,415
0,100	—	0,100	—	0,400
0,100	—	0,150	—	0,400
0,100	—	0,200	—	0,410
0,100	—	—	0,300	0,400
0,100	—	—	0,500	0,400
0,100	—	—	1,000	0,400

быть полностью выведены из раствора, так как эти элементы образуют окрашенные комплексы с пирогаллолом в тех же условиях, что и тантал.

Таким образом, если сравнивать пирогаллол и роданин Б как реактивы на тантал в отношении специфичности, то предпочтение следует отдать красителю.

Высокая чувствительность и специфичность реакции тантала с роданином Б делает возможным применение этого красителя для определения очень малых содержаний тантала, порядка тысячных долей процента, в различных материалах и рудах.

Выполнение определения

Тантал отделяют от основной массы содержащегося в пробе ниобия и титана одним из известных методов [4—6]. Выделенный оксид тантала вместе с фильтром помещают в тигель и выдерживают в муфеле при температуре 400° до полного выгорания углерода. Полученную пепельную массу сплавляют в закрытом крышечной тигле с 5—7 г сульфата аммония при температуре 800—850°. После прекращения бурного кипения крышку удаляют и сплавление продолжают до полного удаления SO₂, после чего тигель немедленно вынимают из муфеля.

Содержимое тигля выщелачивают 25 мл раствора шавелевой кислоты той концентрации, по которой была построена калибровочная кривая (от 0,5 до 1 н.). Часть отмеренного объема шавелевой кислоты вливает в тигель, который закрывают крышкой и доводят до кипения. Полученный прозрачный раствор переносят на тигель и промывают пробирку на 25 мл и сюда же смывают тигель, оставшийся частью шавелевой кислоты. Если при кипячении смеси произошло выпадение осадка, объем состава в пробирке доводят до метки, прилив воды.

Из подготовленного таким образом окислительного раствора тантала отбирают пипеткой 3 мл и переносят в маленькую делительную воронку. Если содержание Ta₂O₅ в данном объеме окислительного раствора выросло выше 0,05 мг, то берут меньшие aliquотные части и доводят до 5 мл раствором шавелевой кислоты, который применяется для выщелачивания. Добавляют три капли насыщенного раствора фторида аммония (25 : NH₄F на 100 мл воды), 1 мл 0,1% водного раствора роданина Б и 3 мл

этилацетата и хорошо перемешивают в течение одной минуты. Смесь оставляют на 5 минут для расслаивания, после чего водную фазу отделяют. К этилацетатному слою, оставшемуся в делительной воронке, прибавляют 2 мл 10% серной кислоты, взбалтывают и дают отстояться в течение 3 минут. Водную сернокислотную фазу отделяют, и промывку этилацетатного слоя серной кислотой повторяют еще раз в тех же условиях.

Интенсивность окраски этилацетатного раствора тантал-роданин Б соединения измеряют в фотоколориметре в кювете с толщиной слоя в 3 мм, пользуясь зеленым светофильтром.

Содержание тантала находят с помощью калибровочной кривой, построенной на основании измерения окраски типовых растворов, полученных в тех же условиях, в которых выполняется данное определение.

Выводы

В результате проведенного исследования разработана методика фотоколориметрического определения тантала с роданином Б.

Родамин Б впервые рекомендуется для количественного определения тантала. Как реактив для определения тантала роданин Б имеет преимущество перед пирогаллолом в отношении специфичности и чувствительности. Определение тантала с роданином Б возможно в присутствии вольфрама и умеренных количеств титана и ниобия. Чувствительность реакции составляет 1 : 500000.

Уральский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
15/VII 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Кузнецов, Усп. хим., 18, 75, 1949.
2. М. Шапиро, ЖПХ, 11, 1028, 1938.
3. Н. Кривошлыков, М. Платонов, ЖПХ, 10, 184, 1937.
4. И. Алимари, Т. Бузова, ЖПХ, 18, 289, 1945.
5. R. Merzer, R. Well, Analyst, 77, 339, 1952.
6. Ю. Чернихов, В. Трасс, К. Певзнер, Зав. лаборатория, 6, 637, 1956.

* Содержание Nb₂O₅ в анализе не должно превышать 0,450 мг, а содержание PbO — 0,100 мг.

И. Е. БЫКОВ, Л. С. ГОРШКОВА

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЧЕТЫРЕХВАЛЕНТНОГО ТЕЛЛУРА НА РТУТНОМ КАПЕЛЬНОМ ЭЛЕКТРОДЕ В ЩЕЛОЧНОМ ЦИАНИСТОМ РАСТВОРЕ

В растворе едкого натра четырехвалентный теллур образует хорошо выраженную полярографическую волну, соответствующую восстановлению иона TeO_3^{2-} до иона Te^{2-} [1]. Нортон с сотрудниками [2] наблюдал волну шестивалентного теллура в растворе цианистого калия. Полярографическое поведение четырехвалентного теллура в цианистом электролите не исследовалось, хотя четырехвалентное состояние для теллура является более обычным, чем шестивалентное.

Давно известно [3], что медь в цианистом растворе не восстанавливается на ртутном капельном электроде в пределах, применяющихся в практике полярографии потенциалов. Намечающаяся отсюда возможность полярографирования теллура без отделения его от меди позволила бы значительно ускорить определение теллура в его сплавах с медью, которые в последнее время получают распространение в электромашиностроении.

Нами такая возможность исследовалась с помощью полярографа визуального типа, изготовленного экспериментальными мастерскими УФАН СССР. Все величины потенциалов полуволн, приводимые в настоящей статье, даны по отношению к насыщенному каломельному электроду, служившему в наших опытах анодом электролизера. Кислород из растворов удалялся пропусканием водорода, реже — путем прибавления сульфита натрия. Объемы растворов, подготовленных для полярографирования, всегда равнялись 25 мл. Стандартный раствор теллура был приготовлен путем растворения элементарного теллура в царской водке, удаления азотной кислоты повторным выпариванием с соляной кислотой и разбавления водой до определенного объема.

Известно, что ион меди осаждается как щелочью, так и цианистым калием. Полученные осадки растворяются в избытке цианистого калия с образованием бесцветного комплексного иона $\text{Cu}(\text{CN})_4^{2-}$, не дающего полярографической волны (рис. 1, кривая 2).

Четырехвалентный теллур в щелочном цианистом растворе образует единственную, прекрасно выраженную волну с крутым подъемом и длинными горизонтальными участками (рис. 1, кривая 3). Волна теллура не изменяет своей высоты и формы в присутствии многократного избытка меди, если последняя связана в цианидный комплекс и если имеется избыток свободного цианида (рис. 1, кривые 4—6).

По расчету, для связывания 200 мг меди (что соответствует обычной величине навески в полярографическом анализе) в ион $\text{Cu}(\text{CN})_4^{2-}$ необходимо 25 мл полумолярного раствора цианистого калия. Применяемая в опытах 0,65-молярная концентрация цианида в конечном растворе обеспечивает быстрое и полное комплексообразование и создание достаточного избытка свободного цианида. При недостатке цианистого калия медь связывается в комплексный ион неполностью, и несвязанная

медь дает собственную волну, препятствующую полярографированию теллура. Увеличение концентрации цианистого калия до одно- и даже до полумолярной не влияет на волну теллура, но и не дает никаких преимуществ (рис. 2).

В отсутствии щелочи (рис. 3, кривая 1) теллур в цианистом электролите образует сложную полярограмму, свойственную кислым растворам [1]. Высокая щелочность увеличивает вязкость раствора, в результате чего уменьшается высота волны теллура (рис. 3). Поэтому как отсутствие, так и большой избыток щелочи в электролите являются нежелательными.

Максимум волны теллура в изучаемом растворе легко подавляется небольшим количеством желатина. На некоторые особенности растворов, содержащих очень мало теллура, будет указано ниже.

Соли натрия — хлористая, сернокислая и сернистокислая — уменьшают высоту волны теллура, повышая вязкость раствора. Поэтому избыточную кислоту в исходных растворах предпочтительно не нейтрализовать, а удалять выпариванием. Однако добавление сульфита натрия к щелочному электролиту для удаления кислорода вполне допустимо при условии, чтобы его концентрация в растворе была умеренной (0,1—0,2 молярной), качество — хорошим, количество в сравниваемых растворах — одинаковым. Доброкачество сульфита натрия при работе с щелочными растворами имеет большое значение потому, что удаление кислорода из таких растворов происходит значительно медленнее, чем из аммиачных.

В результате изучения зависимости волны теллура от различных факторов было найдено, что раствор состава 0,65 M KCN, 0,25 M NaOH, 0,2 M Na_2SO_3 , 0,01—0,05 % желатина, в котором сульфит натрия является возможным, но необязательным компонентом, удовлетворяет большинству требований, предъявляемых к полярографическому электролиту.

В описанных опытах составные части прибавлялись порознь. Была однако установлена возможность прибавления их в форме одного общего раствора в случае нейтральности анализируемого раствора. К кислым растворам лучше прибавить сначала едкий натр, затем — все другие компоненты электролита в общем растворе. Такой вариант также был испытан с удовлетворительным результатом.

Потенциал полуволны теллура в щелочном цианистом электролите указанного состава, определенный при помощи графика в координатах $E - \lg \frac{i}{I-i}$ [4], оказался равным — 1,20 в. Лингейн и Нидрах [1] нашли,

что потенциал полуволны теллура в 0,1- и 1-молярных растворах едкого натра в присутствии 0,003 % желатина равен соответственно — 1,22 и — 1,19 в, что совпадает с найденной нами величиной. Независимость величины полуволнового потенциала теллура от присутствия цианистого калия в щелочном растворе позволяет заключить, что теллур не образует устойчивых комплексов с ионом CN^- и не изменяет своего ионного состояния при прибавлении цианида калия к щелочному раствору.

Дополнительное подтверждение вывода об единстве электродных процессов при восстановлении четырехвалентного теллура мы пытались получить путем определения числа электронов (n), участвующих в электродной реакции. Восстановление теллура в изучаемом электролите протекает необратимо, и n нельзя определить известным графическим методом [4]. Попытка использовать полярографическую кулонометрию в оформлении Стромберга и Маркачевой [5] оказалась неудачной.

В методике проведения макрокулометрических опытов мы следовали указаниям Лингейна [6]. Собранная установка была проверена путем определения n при восстановлении кадмия из аммиачно-хлоридного четы-

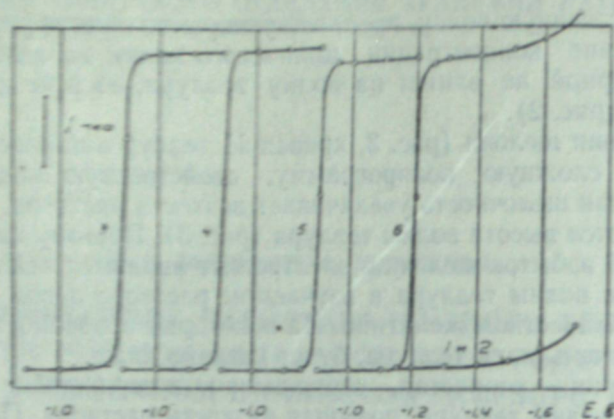


Рис. 1. Волны теллура в щелочном цианидном растворе при различном содержании меди. Концентрация KCN — 0,65 моль/л, NaOH — 0,25 моль/л, желатина — 0,05%. Содержание металлов в опытах: 1—200 мг Cu, 2—1 мг Te, 4—1 мг Te и 50 мг Cu, 5—1 мг Te и 100 мг Cu, 6—1 мг Te и 200 мг Cu, в 25 мл. Кривая 1 — остаточный ток.

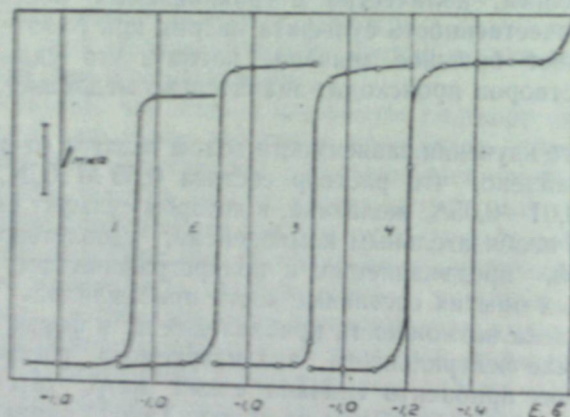


Рис. 2. Волны теллура в щелочном цианидном растворе при различном содержании цианистого калия. Концентрация NaOH — 0,25 моль/л, желатина — 0,05%, Te — по 1 мг в 25 мл, Cu — в 2—4 опытах по 200 мг. Содержание KCN в опытах: 1—0; 2—0,65; 3—1; 4—1,5 моль/л.

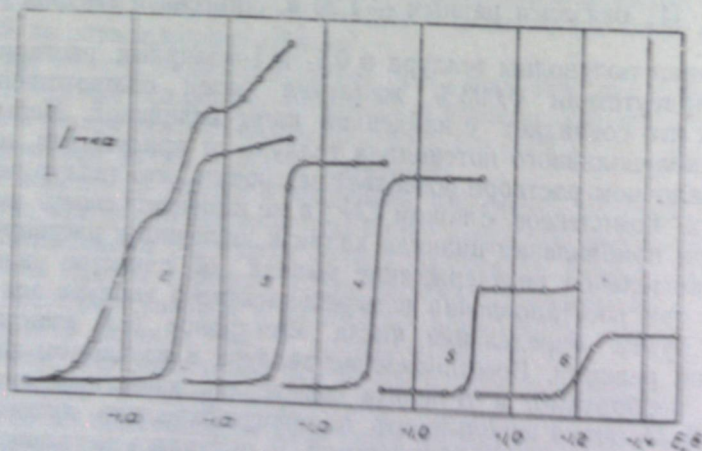


Рис. 3. Волны теллура в щелочном цианидном растворе при различном содержании натрия. Концентрация KCN — 0,65 моль/л, желатина — 0,05%, Cu — по 100 и Te — по 1 мг в 25 мл. Содержание NaOH в опытах: 1—0; 2—0,1; 3—0,25; 4—0,5; 5—0,75; 6—1 моль/л.

рехвалентного теллура из щелочного раствора. Серебряный анод оказался непригодным для работы с щелочным цианистым электролитом из-за взаимодействия серебра с цианидом и был заменен платиновым. Для ослабления влияния на опыт кислорода, выделяющегося на аноде, последний погружался в электролит, не содержащий теллура, отделенный от остального электролита коллодиевой диафрагмой.

Количество меди, выделившееся в медном кулонометре за время опыта, ввиду его незначительности определялось полярографически. Электролиз проводился в 50 мл раствора при катодном потенциале — 1,4 в. Состав электролита: KCN — 0,65 моль/л, NaOH — 0,25 моль/л, желатин — 0,02%, медь — 400 мг и теллур — 5 мг. Поверхность ртути, служившей катодом, перемешивалась мешалкой, в электролит пропускался водород.



Рис. 4. Волны теллура в щелочном цианидном растворе при различном содержании теллура.

Концентрация KCN — 0,65 моль/л, NaOH — 0,25 моль/л, желатина — 0,01%, Cu — по 200 мг в 25 мл;

Содержание Te в опытах: 1 опыте — 0; 2 — 0,05; 3 — 0,1; 4 — 0,15; 5 — 0,2 мг в 25 мл.



Рис. 5. Волны теллура в щелочном цианидном растворе в отсутствии поверхностно-активных веществ при различном содержании теллура.

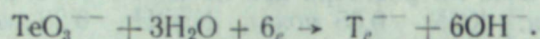
Концентрация KCN — 0,65 моль/л, NaOH — 0,25 моль/л, Cu — по 200 мг в 25 мл;

Содержание Te в опытах: 1 — 0; 2 — 0,01; 3 — 0,025; 4 — 0,05; 5 — 0,1 мг в 25 мл.

Опыт продолжался обычно около часа. В ходе его наблюдались явления, сходные с описанными для щелочного раствора [1]. Вначале сила тока быстро падала, а в растворе выделялся элементарный теллур. Затем сила тока несколько увеличивалась, а раствор становился прозрачным и приобретал фиолетовый оттенок. Наконец раствор обесцвечивался, а ток достигал устойчивой незначительной величины. Эти изменения позволяют понять причину наших неудач при использовании методики Стромберга и Маркачевой. Восстановление четырехвалентного теллура в щелочном цианидном растворе имеет ступенчатый характер, и оценка количества теллура, восстановившегося на катоде, в каждый данный момент времени не может быть правильно сделана путем наблюдения за величиной диффузионного тока только исходного иона.

В двух наших опытах величина n была найдена равной 5,5 и 5,95, в среднем 5,73, округленно — 6.

Таким образом, ход процесса восстановления на ртутном катоде, а также величины числа электронов в электродной реакции и потенциала полуволны для четырехвалентного теллура в щелочном растворе не изменяются при добавке к раствору цианистого калия. Это подтверждает, что в присутствии цианида теллур в щелочном растворе продолжает оставаться в форме иона TeO_3^{--} и восстанавливается по шестизлектронной схеме:



Потребление большого количества электронов при восстановлении обеспечивает высокую чувствительность соответствующих полярографических методов. Многочисленные измерения диффузионных токов теллура в электролите, описанного выше состава, содержанием 0,2—10 мг теллура в 25 мл, показали, что действительно диффузионные токи относительно велики и что в указанных пределах сохраняется пропорциональность между диффузионным током и концентрацией теллура в растворе.

Однако при уменьшении количества теллура до 0,1 мг и ниже потенциал его полуволны все более смещается в отрицательном направлении, и наконец диффузионный ток становится неразличимым, сливаясь с конечным подъемом полярограммы (рис. 4). Оказалось, что исчезновение волны теллура связано с адсорбционными свойствами поверхности капли ртути и наличием в растворе поверхностно-активного вещества — желатина. При исключении желатина из состава электролита смещения потенциала полуволны теллура при уменьшении его концентрации не происходит и можно оценивать минимальные количества теллура по высоте максимума, которая пропорциональна содержанию теллура в растворе (рис. 5).

Выводы

Четырехвалентный теллур образует в щелочном цианистом электролите полярографическую волну, которую в описанных условиях можно использовать для количественного определения теллура в меди без предварительного отделения.

Уральский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
10/IX 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. J. J. Lingane, L. W. Niedrach, J. Amer. Chem. Soc., 71, 1, 196 (1949).
2. E. Norton, R. W. Stenner, A. I. Medalia, J. Amer. Chem. Soc., 75, 8, 1827 (1953).
3. Я. Гейровский, Полярографический метод. ОНТИ. Химтеорет. Л., 1937.
4. И. М. Кольтгоф, Дж. Дж. Лингейн, Полярография. Госхимиздат, М.—Л. 1948.
5. А. Г. Стромберг, Т. М. Маркачева, ЖФК, XXVIII, 4, 671 (1954).
6. J. J. Lingane, Anal. chim., acta, 2, 5 (6) 7, 584 (1948).

Е. И. МАСЛОВА, И. С. ЛИЛЕЕВ

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МЕЖДУ Li_2O , Al_2O_3 , SiO_2 и CaO ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ СПЕКАНИЯ

Сообщение 2-е

О взаимодействии окислов лития, алюминия и кальция

Взаимодействие между Li_2O , Al_2O_3 и CaO может происходить в различных процессах ряда производств. Химизм процесса, протекающего между ними, до последнего времени не был освещен в литературе. Известны лишь данные о взаимодействии аналогичных натриевой и калиевой систем, изученных в равновесном состоянии [1, 2]. Для этих двух систем построены диаграммы состояния. Кроме того, имеются сведения о взаимодействии этих окислов при температурах спекания [3]. Известно, что взаимодействие окиси алюминия с окислами натрия и калия протекает более энергично, чем с окисью кальция, вследствие чего в смеси этих трех окислов происходит образование в первую очередь алюмината натрия.

В своем исследовании мы поставили цель установить, как происходит взаимодействие при температурах спекания в смеси окислов лития, алюминия и кальция, и выяснить, оказывает ли присутствие окиси кальция влияние на образование алюмината лития.

Исследования проводились путем изучения взаимодействия между

Li_2O , Al_2O_3 и CaO ;

CaO , Al_2O_3 и $\text{Li}_2\text{O}(\text{Li}_2\text{CO}_3)$;

CaO , Al_2O_3 и $\text{Li}_2\text{O}(\text{Li}_2\text{CO}_3)$.

В качестве исходных веществ были взяты:

1. Углекислый литий марки х. ч.
2. Окись кальция марки ч. д. а.
3. Алюминат лития — $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, синтезированный в лабораторных условиях. Содержание примесей в нем (в %) Na_2O — 0,35, Fe_2O_3 — 0,08, SiO_2 — следы, CaO — 0,01. Оптические константы: N_g — 1,620 и N_p — 1,604;
4. Алюминат кальция — $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, синтезированный, следующего состава (в %): CaO — 34,35, Al_2O_3 — 64,1, Fe_2O_3 — 0,15, Na_2O — 0,09. Оптические константы его: N_g — 1,663 и N_p — 1,643.

Изучение реакций осуществлялось при помощи термического и микроскопического анализов.* Для реакции между алюминатом кальция и карбонатом лития дополнительно определялось содержание свободной окиси кальция в спеках глицератным методом [4, 5].

Ниже приводятся результаты исследований.

* Микроскопические исследования проведены О. И. Аракелян.

О взаимодействии между алюминатом лития и окисью кальция

В начале термического исследования реакции между алюминатом лития и окисью кальция были сняты дифференциальные кривые нагревания исходных веществ, которые показали отсутствие термических эффектов.

При нагревании смеси, составленной в молекулярном отношении $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{CaO} = 1 : 1$, была получена термограмма, представленная на рис. 1.

Здесь эндотермический эффект на кривых нагревания указывает на то, что изменения в смеси при нагревании происходят в интервале температур 1230—1260°. При этих же температурах имеется эффект и на кривых охлаждения.

Так как исходные вещества не испытывают полиморфных превращений и температуры плавления их значительно выше температур, соответствующих полученным эффектам (т. пл. LiAlO_2 — 1700°, CaO — 2570°), то можно считать, что образование последних на кривых нагревания и охлаждения указывает на наличие обратимого процесса при этих температурах и, возможно, появление эвтектического плавления.

Для проведения микроскопических исследований по реакции $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$ были получены спеки путем двухчасового обжига в силитовой печи при температурах 1000°, 1150°, 1200° и 1250°. Результаты микроскопических исследований спеков следующие: при температуре 1000° образец спека состоит из кристаллов алюмината лития в виде крупных шестигранников. Наблюдается значительное количество окиси кальция; при 1150° образец состоит из алюмината лития и окиси кальция. Отличается от предыдущего образца заметным укрупнением структуры; при 1200° он состоит из алюмината лития и окиси кальция; при 1250° — содержит крупные, хорошо выраженные самостоятельные кристаллы алюмината лития и мелкозернистую смесь, похожую на эвтектику.

Таким образом, результаты микроскопических исследований согласуются с результатами термического анализа: никаких изменений в составе исходной смеси не наблюдается до 1220—1230°. Алюминат лития и окись кальция не вступают во взаимодействие. Происходит лишь укрупнение кристаллов. Только в спеке, полученном при 1250° наряду с хорошо выраженными, укрупненными размерами кристаллами алюмината лития, появляется мелкозернистая смесь, похожая на эвтектику.

Все это хорошо можно наблюдать на фотоснимках (рис. 2 и 3), полученных в поляризационном микроскопе при увеличении 10×60 в проходящем и поляризованном свете. На снимках ясно видны крупные зерна алюмината лития, окруженные смесью мелких зерен или массы, которая может быть отнесена за счет эвтектики. Показатель преломления ее отличный от показателей преломления исходных веществ.

Из данных термических и кристаллооптических исследований видно, что при нагревании до температуры 1220—1230° алюминат лития и окись кальция не вступают во взаимодействие. И только в интервале температур 1230—1250° наблюдаются изменения в виде появления мелкодисперсной фазы, похожей на эвтектику.

Образование эвтектики подтверждается наличием эндотермического эффекта на кривых нагревания и экзотермического эффекта при этой же температуре на кривых охлаждения.



Рис. 2. Фото образца, полученного по реакции $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$, при $t = 1250^\circ$:
а — алюминат лития; б — эвтектическая смесь.

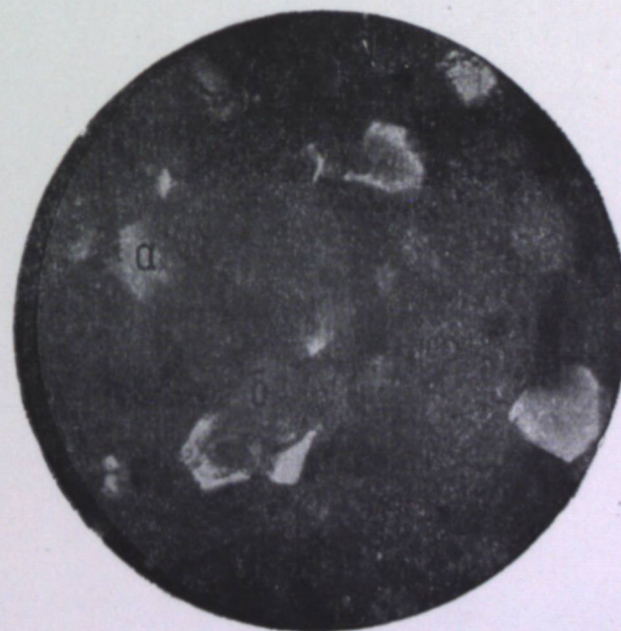


Рис. 3. Фото образца, полученного по реакции $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$, при $t = 1250^\circ$ (при скрещенных николях):
а — алюминат лития; б — эвтектическая смесь.

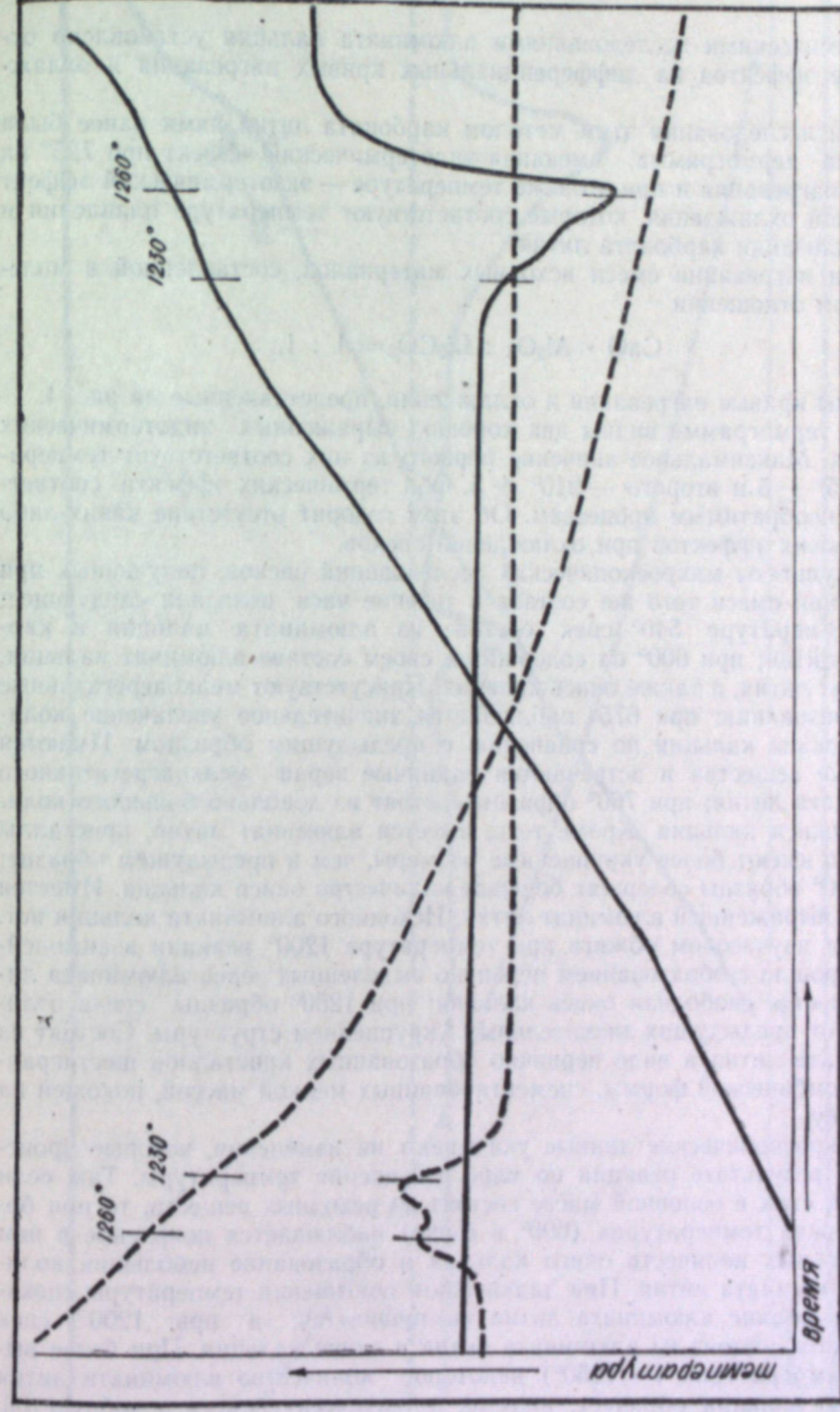


Рис. 1. Термограмма по реакции $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$.

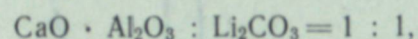
— кривые нагрева; — — — кривые охлаждения.

О взаимодействии между алюминатом кальция и карбонатом лития

Термическими исследованиями алюмината кальция установлено отсутствие эффектов на дифференциальных кривых нагревания и охлаждения.

При исследовании этим методом карбоната лития нами ранее была получена термограмма, имеющая эндотермический эффект при 725° на кривой нагревания и при этой же температуре — экзотермический эффект на кривой охлаждения, которые соответствуют температуре плавления и кристаллизации карбоната лития.

При нагревании смеси исходных материалов, составленной в молекулярном отношении



получены кривые нагревания и охлаждения, представленные на рис. 4.

На термограмме видны два хорошо выраженных эндотермических эффекта. Максимальное значение первого из них соответствует температуре $665^\circ \pm 5$ и второго — $910^\circ \pm 5$. Оба термических эффекта соответствуют необратимым процессам. Об этом говорит отсутствие каких-либо термических эффектов при охлаждении спеков.

Результаты микроскопических исследований спеков, полученных при нагревании смеси того же состава в течение часа, показали следующее: при температуре 540° спек состоит из алюмината кальция и карбоната лития; при 600° он содержит в своем составе алюминат кальция, карбонат лития, а также окись кальция. Присутствуют мелкоагрегативные новообразования; при 675° наблюдается значительное увеличение количества окиси кальция по сравнению с предыдущим образцом. Имеются исходные вещества и встречаются единичные зерна мелкоагрегативного алюмината лития; при 760° образцы состоят из довольно большого количества окиси кальция. Кроме того, имеется алюминат лития, кристаллы которого имеют более укрупненные размеры, чем в предыдущем образце; при 1000° образцы содержат большое количество окиси кальция. Имеется хорошо выраженный алюминат лития. Исходного алюмината кальция нет.

При двучасовом обжиге при температуре 1200° реакция взаимодействия прошла с образованием первично выделенных зерен алюмината лития. Имеется свободная окись кальция; при 1250° образцы спека отличаются от предыдущих значительным укрупнением структуры. Состоят из алюмината лития в виде первично образованных кристаллов шестигранной и ромбической формы, сцементированных мелкой массой, похожей на эвтектику.

Микроскопические данные указывают на изменения, которые происходят в результате реакции по мере повышения температуры. Так, если при 540° спек в основной массе состоит из исходных веществ, то при более высоких температурах (600° и выше) наблюдается появление в нем значительных количеств окиси кальция и образование небольших количеств алюмината лития. При дальнейшем повышении температуры спекания содержание алюмината лития увеличивается, и при 1200° спек в основном состоит из алюмината лития и окиси кальция. При более высоких температурах ($\sim 1250^\circ$) некоторое количество алюмината лития с окисью кальция образует, видимо, эвтектическую смесь, подобную той, которая была установлена при исследовании реакции $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$.

В дополнение к термическим и микроскопическим исследованиям спекы, полученные при 540 , 600 , 675 , 760 и 1000° , были подвергнуты химическому анализу на определение свободной окиси кальция. Наличие послед-

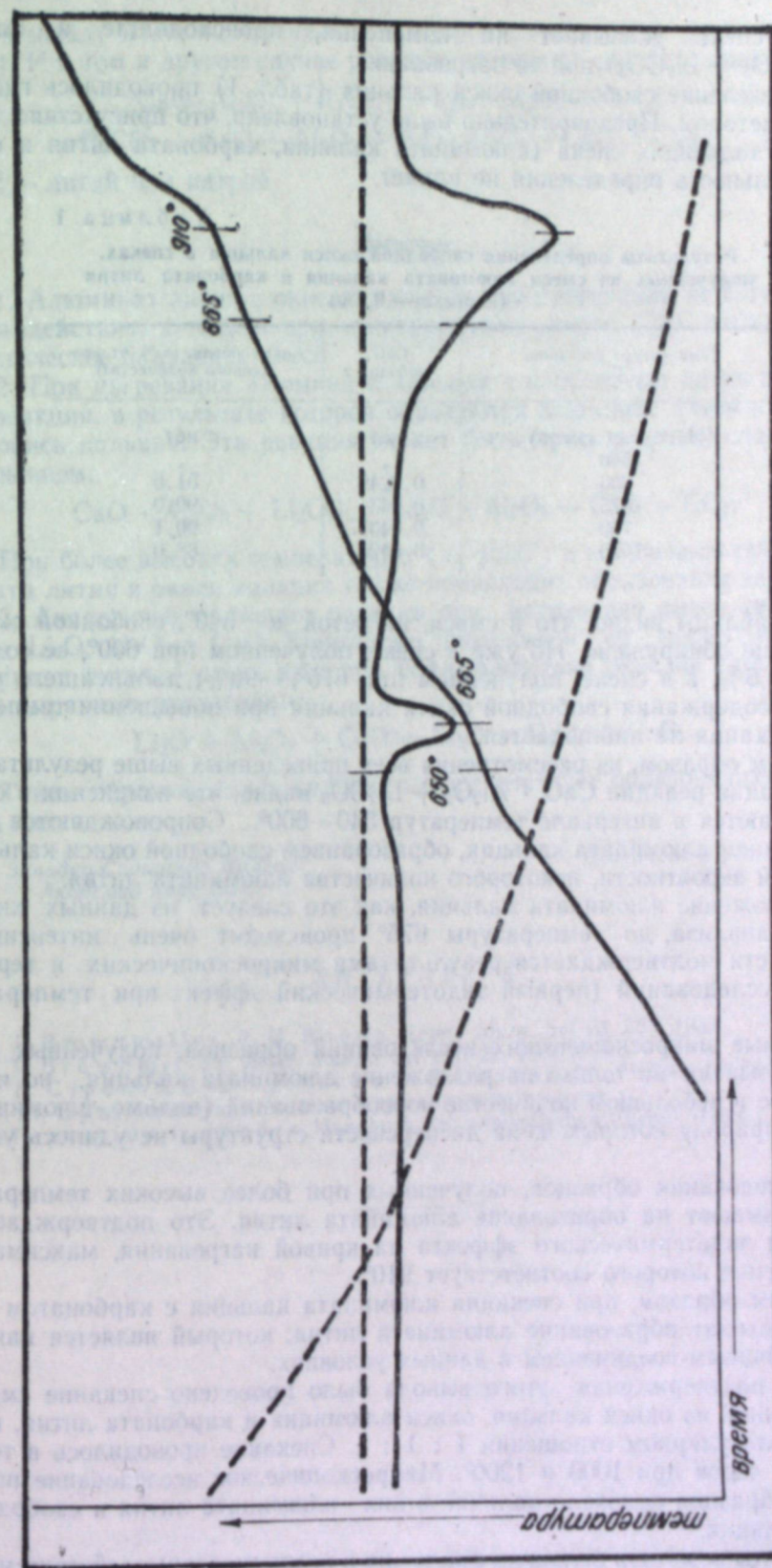


Рис. 4. Термограмма по реакции $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Li}_2\text{CO}_3$.
— кривые нагревания и дифференциальной термопары; ---- кривые охлаждения.

ней в спеке указывает на изменения, происходящие в смеси ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Li}_2\text{CO}_3$) при ее нагревании.

Определение свободной окиси кальция (табл. 1) проводилось глицератным методом. Предварительно было установлено, что присутствие других составляющих спека (алюмината кальция, карбоната лития и пр.) на правильность определения не влияет.

Таблица 1

Результаты определения свободной окиси кальция в спеках, полученных из смеси алюмината кальция и карбоната лития (навеска — 0,2 г)

Температура спекания, °С	CaO свободн., г	CaO свободн. (в % от введенного количества)
(Исходная смесь)	нет	нет
540		
600	0,0249	51,6
675	0,0434	90,0
760	0,0437	90,1
1000	0,0425	88,0

Из таблицы видно, что в смеси, нагретой до 540°, свободной окиси кальция не обнаружено. Но уже в спеке, полученном при 600°, ее содержится 51,6%, а в спеке, полученном при 675°, — 90%; дальнейшего увеличения содержания свободной окиси кальция при повышении температуры спекания не наблюдается.

Таким образом, из рассмотрения всех приведенных выше результатов исследования реакции $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Li}_2\text{CO}_3$ видно, что изменения в смеси начинаются в интервале температур 540—600°. Сопровождаются они разложением алюмината кальция, образованием свободной окиси кальция и, по всей вероятности, некоторого количества алюмината лития.

Разложение алюмината кальция, как это следует из данных химического анализа, до температуры 675° происходит очень интенсивно. Это отчасти подтверждается результатами микроскопических и термических исследований (первый эндотермический эффект при температуре 665°).

Данные микроскопических исследований образцов, полученных при 675°, указывают не только на разложение алюмината кальция, но и на появление в небольшом количестве новообразований (видимо, алюмината лития), природу которых из-за дисперсности структуры не удалось установить.

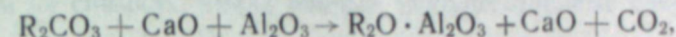
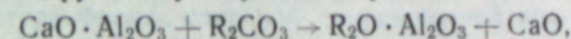
Исследования образцов, полученных при более высоких температурах, указывают на образование алюмината лития. Это подтверждается наличием эндотермического эффекта на кривой нагревания, максимальное значение которого соответствует 910°.

Таким образом, при спекании алюмината кальция с карбонатом лития происходит образование алюмината лития, который является наиболее устойчивым соединением в данных условиях.

Для подтверждения этого вывода было проведено спекание смеси, составленной из окиси кальция, окиси алюминия и карбоната лития, взятых в молекулярном отношении 1 : 1 : 1. Спекание проводилось в течение двух часов при 1000 и 1200°. Микроскопическое исследование полученных образцов показало наличие в них алюмината лития и свободной окиси кальция.

Следует отметить большую аналогию в химизме взаимодействия между алюминатом кальция и карбонатом лития (или окислами этих метал-

лов) и между алюминатом кальция и карбонатом натрия (или их окислами). И в том и другом случае реакции протекают согласно уравнениям:

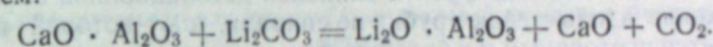


где R — литий или натрий.

Выводы

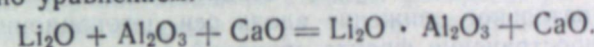
1. Алюминат лития с окисью кальция при нагревании не вступает во взаимодействие, и только при температурах выше 1230° наблюдается эвтектическое плавление смеси.

2. При нагревании алюмината кальция с карбонатом лития происходит реакция, в результате которой образуются алюминат лития и свободная окись кальция. Эта реакция может быть представлена следующим уравнением:



При более высоких температурах (~1250°) в полученной смеси алюмината лития и окиси кальция также происходит образование эвтектики.

3. Аналогично протекает реакция при нагревании смеси трех окислов — Li_2O , Al_2O_3 и CaO . Конечными продуктами ее также являются алюминат лития и окись кальция. Взаимодействие окислов здесь может быть выражено уравнением:



Таким образом, окись кальция не препятствует образованию алюмината лития.

Западно-Сибирский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
4/X 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. L. T. Brownmiller, R. H. Boque, Amer. Journ. Sci 23, 508, 1932.
2. L. T. Brownmiller, Amer. Journ., Sci (5), 29, 260, 1935.
3. Ф. Н. Строков, В. А. Мусяков и В. С. Волков. Сб. ГИПХа, 32, 1940.
4. Ю. М. Бутт, Практикум по технологии вяжущих веществ.
5. R. Fresenius, G. Jander, Handbuch der analytischen Chemie, 1940.

Б. В. ВОЙЦЕХОВСКИЙ, Б. Е. КОТОВ

ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФРОНТА СПИНОВОЙ ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ

Исследования спиновой детонационной волны, проведенные учеными на протяжении последних тридцати лет, т. е. с момента открытия этого явления, показали, что голова фронта спиновой детонационной волны совершает движение вдоль стенок трубки по спирали, шаг которой в каждом опыте остается постоянным и в большинстве случаев равен трем диаметрам [1, 2]. Исключительное постоянство шага позволяет предположить, что односторонняя спиновая детонационная волна, возникающая на пределе затухания детонации, представляет собой установившееся явление, т. е. в специально выбранной системе координат газодинамические параметры продуктов детонации будут оставаться постоянными во времени и пространстве. Такими свойствами будет обладать система координат, совершающая поступательное движение вдоль оси детонационной трубки со скоростью распространения фронта спиновой детонации и одновременно вращательное движение вокруг оси трубки с угловой скоростью, равной скорости вращения головы детонационного спина.

Экспериментальное изучение установившихся явлений в газовой динамике может производиться компенсационным методом, заключающимся в том, что фотографирование производится на пленку, совмещенную по скорости и направлению с системой координат, в которой поконится изображение исследуемого явления, получаемое с помощью фоторегистра. Таким образом, скорость распространения установившегося явления компенсируется соответствующим подбором скорости пленки.

Для исследования нормальной детонационной волны этот метод был впервые применен К. И. Щелкиным и Я. К. Трошиным [2]. Ими осуществлялась компенсация только осевой компоненты скорости фронта детонационной волны, направленной вдоль оси трубки. Фотографирование явления они производили с помощью фоторегистра через щель, перпендикулярную оси трубки, на пленку, движущуюся параллельно оси со скоростью $\frac{D}{\kappa}$ противоположно направлению распространения детонации (D — скорость детонации, κ — коэффициент уменьшения в объективе фоторегистра).

Таким образом, каждый элементарный участок изображения самосветящейся структуры за фронтом детонационной волны покоится относительно пленки на протяжении времени экспозиции $T = \frac{h}{D}$, где h — ширина щели.

Снимок нормальной детонационной волны, полученный этим методом, представлял собой весьма четкую картину, не отличающуюся от снимка обычным фотоаппаратом, снабженным мгновенно действующим затвором, который открывается на время меньшее 10^{-6} сек. Фотографии спиновой детонационной волны сделаны Я. К. Трошиным и К. И. Щелкиным

в той же постановке, т. е. с компенсацией только осевой составляющей скорости и без учета вращательной. В результате неполной компенсации скорости структура фронта спиновой детонационной волны, зафиксированная ими на снимках, имела рваные, неупорядоченные очертания.

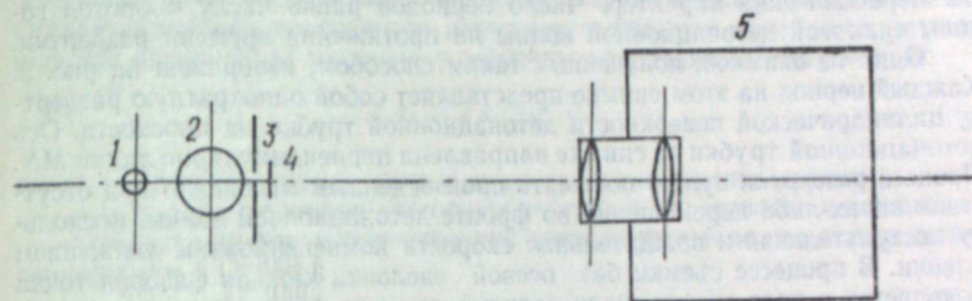


Рис. 1. Схема установки для исследования спиновой детонации компенсационным методом.

1 — импульсная лампа-подсветка, 2 — детонационная трубка, 3 — щель, параллельная образующей, 4 — светофильтр, 5 — фоторегистр, наклоненный под углом α к горизонтальной плоскости.

На рис. 1 изображена схема опытов, в которых осуществлялась компенсация как поступательной, так и вращательной составляющей скорости фронта детонационной волны. Если рассматривать распространение спиновой детонационной волны со стороны фоторегистра через щель, параллельную оси, как показано на рис. 1, то наблюдаемое направление движения головы детонационного спина со скоростью $u = \frac{D}{\sin \alpha}$ будет сов-

падать с касательной, проведенной к спиралеобразной траектории головы в точке пересечения ее со щелью (α — угол между окружностью поперечного сечения и касательной к спирали). Поскольку строение фронта спиновой детонационной волны является установившимся, то все точки фронта, а также точки, находящиеся на расстоянии нескольких диаметров за фронтом, будут пересекать поле зрения щели под тем же углом α к поперечному сечению и с той же скоростью.

Следует подчеркнуть, что здесь имеются в виду точки, связанные не с продуктами детонации за фронтом, а с постоянным газодинамическим состоянием (давлением, скоростью, плотностью), — точки, находящиеся в постоянной фазе.

Плоскость вращения барабана фоторегистра, изображенного на рис. 1, совмещена с касательной к спирали и составляет с горизонтальной плоскостью угол α . В отличие от обычных способов развертки в данном случае фоторегистр установлен в наклонном положении, с таким расчетом, чтобы движение пленки по направлению и по величине скорости $v = \frac{D}{\kappa \sin \alpha}$ компенсировало движение фазовых точек за фронтом детонационной волны.

Таким образом, изображение каждой фазовой точки на протяжении времени экспозиции $\tau = \frac{h}{D \sin \alpha}$, в течение которого одна из фазовых точек пересекает ширину щели, покоится относительно пленки. За время одного оборота фронта спиновой детонационной волны вокруг оси каждая фазовая точка продуктов детонации за фронтом попадает в поле зрения щели и проектируется в соответствующую ей точку пленки.

Смещение изображения фазовых точек относительно пленки за время экспозиции обычно бывает незначительным:

лучей в зависимости от величины давления в ударной волне, воздействующей на слой желатина. Свойства желатина могут быть показаны с помощью фоторегистрограммы, полученной в проходящем свете (рис. 4). Пространственная и временная координаты отмечены на снимке соответственно осями x и t . На внутреннюю поверхность стеклянной трубки, находящейся на пути проходящего света, нанесен слой желатина. В направлении оси x в стеклянной трубке распространяется ударная волна AB . После отражения от жесткой преграды в точке B , перекрывающей поперечное сечение трубки, в обратном направлении распространяется отраженная ударная волна BC . Как видно из снимка, падающая волна вызывает более слабое потемнение, отраженная — более сильное.

Отношение скоростей падающей и отраженной волн, измеренное по снимку, равно этому же отношению, вычисленному из выражения

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{3\gamma - 1}{\gamma + 1}} - \frac{2}{\gamma + 1}, \quad (1)$$

которое следует из теории ударных волн (здесь v_2 и v_1 — скорости ударных волн BC и AB в лабораторной системе координат).

На участке, находящемся над областью, засвеченной проходящим светом, желатин под действием ударной волны светлее. Это подсказывает, что под действием ударной волны желатин рассеивает падающий на него световой поток, в результате чего участок желатина, находящийся на прямом пути между источником света и объективом фоторегистра, темнеет, а соседний с ним, наоборот, светлеет, поскольку в объектив с этих участков после воздействия ударной волны начинает попадать рассеянный свет. Описываемое здесь свойство желатина может найти широкое применение при изучении сложных конфигураций ударных волн.

В опытах, схема которых изображена на рис. 1, свойство желатина было использовано для обнаружения фронтов давления впереди идущей ударной и поперечной детонационной волн. Один из полученных при этом снимков помещен на рис. 5. Участок вертикально расположенной стеклянной трубки, фоторегистрируемый через щель, параллельную оси, разделен по длине на две части, верхнюю и нижнюю. На внутреннюю поверхность нижнего участка стеклянной трубки нанесен слой желатина, и этот же участок просвечивается импульсной лампой типа ИПС-200, излучающей свет вдоль отрезка прямой. Верхний участок детонационной трубки фотографируется в тех же условиях, в которых получен снимок, изображенный на рис. 2, но без применения осевой заслонки, исключающей нечеткие периоды. Поэтому четкие периоды на участке FT (рис. 5) чередуются с нечеткими. Полоса KF соответствует нижнему участку. Яркость импульсной лампы, просвечивающей нижний участок детонационной трубки, в несколько сотен раз превосходит яркость самого процесса распространения спиновой детонации, поэтому на нижнем участке относительная интенсивность светового потока, приходящаяся на долю собственного свечения явления, оказывается незначительной по сравнению с интенсивностью проходящего света.

На пути светового потока, излучаемого импульсной лампой, в промежутке между детонационной трубкой и объективом установлен плотный светофильтр, уменьшающий суммарный световой поток до величины, сравнимой со световым потоком, излучаемым детонационной волной на верхнем участке. Таким образом, фотографическая картина, регистрируемая на нижнем участке детонационной трубки, осуществляется исключительно за счет изменения прозрачности желатинного слоя и не зависит от собственного свечения детонационной волны. Прозрачность желатина в свою очередь зависит от величины приложенного к нему давления.

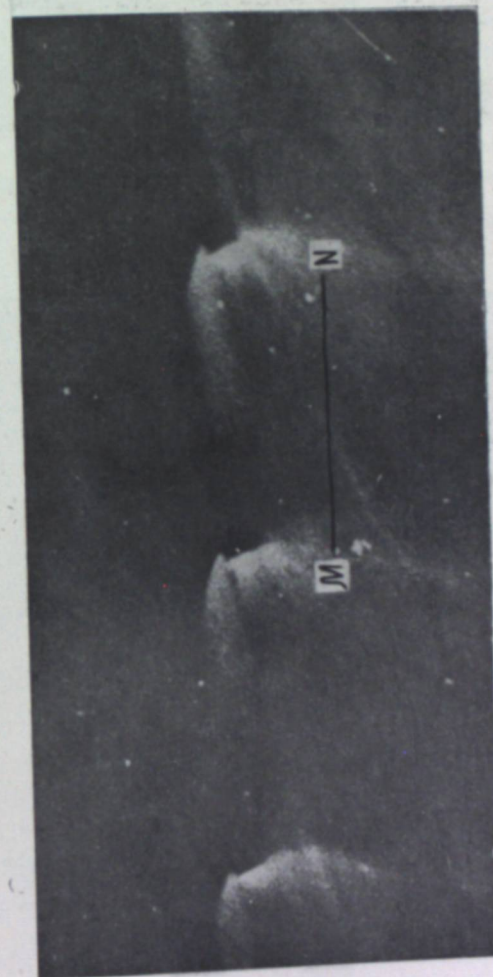


Рис. 2. Развертка на плоскость остановленной спиновой детонационной волны, осуществленная компенсационным методом с применением осевой заслонки.

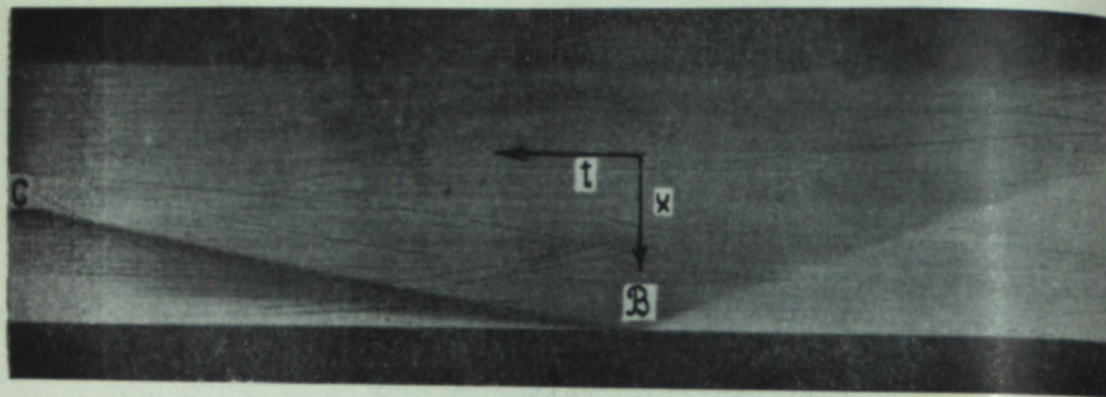


Рис. 4. Фоторегистрограмма падающей (AB) и отраженной (BC) ударных волн в проходящем свете.

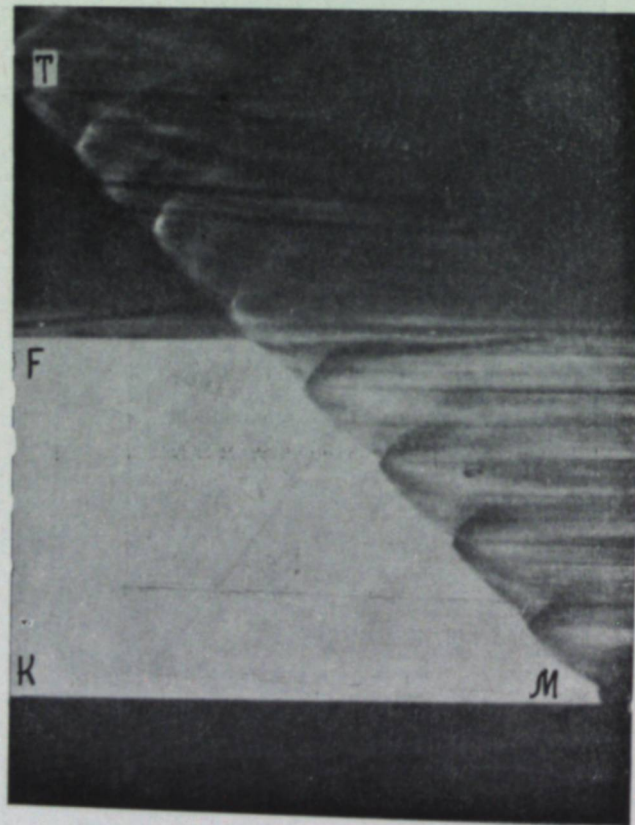


Рис. 5. Мгновенная развертка на плоскость цилиндрической поверхности детонационной трубки, осуществленная компенсационным методом. На участке TF развернуто поле собственного свечения явления. На участке FK осуществлена развертка поля давления на поверхности трубки. Ось детонационной трубки перпендикулярна линии TM.

Участок KF (рис. 5) дает представление о распределении фронтов давления на поверхности трубки. Сравнивая участки KF и FT , замечаем, что действительно впереди фронта детонационной волны распространяется фронт ударной волны AB (ср. рис. 3), несколько отличающийся от плоской, и по сжатому газу в поперечном направлении движется более мощный скачок давления AC (ср. рис. 3), являющийся поперечной детонационной волной.

Контуры периодов, зафиксированных на участках KF и FT , повторяют друг друга. Такое же совпадение контуров наблюдается у периодов, изображенных на рис. 2, и периодов давлений на участке KF (рис. 5). Таким образом, экспериментально подтверждается общая картина распределения разрывов поля давлений, рассматриваемых в работе [5].

Область II (рис. 3), занятая газом, сжатым впереди идущей ударной волной и находящимся в непрореагировавшем состоянии, представляет собой клин, свернутый вокруг поперечного сечения трубки. Основание клина совпадает с фронтом поперечной детонационной волны. Проекция основания клина $h = AC \cos \gamma$ на образующую детонационной трубки равна шагу детонационного спина $2\pi r \operatorname{tg} \alpha$, деленному на степень сжатия σ первичной ударной волне. $\sigma = \frac{\gamma_2 + 1}{\gamma_2 - 1} \approx 8$ (для газовой смеси $2\text{CO} + \text{CO}_2$).

Для рассматриваемой газовой смеси $\operatorname{tg} \alpha = 1$. Следовательно,

$$\frac{2\pi r}{h} = \sigma.$$

На рис. 2, 5 расстояние между двумя соседними поперечными фронтами равно $2\pi r$ в соответствующем масштабе.

Таким образом, на снимке оказывается возможным непосредственно измерить σ .

Экспериментальное значение этого выражения $\sigma = 9$ оказалось несколько завышенным, что объясняется сокращением наблюдаемой величины h за счет перемещения фронта горения вдоль образующей на протяжении одного оборота детонационного спина. Ширина фронта поперечного скачка давления на участке KF (рис. 5) значительно превышает величину h и составляет почти $1/3$ длины окружности трубки. Это объясняется тем, что фронт поперечной детонационной волны продолжается фронтом ударной волны, распространяющейся в продуктах детонации предыдущего шага.

Рассмотреть течение в окрестности точки C (рис. 3) можно по схеме, примененной ранее в точке A . Возможны два случая течения в окрестности точки C . В подкритическом случае ударная волна, распространяющаяся по продуктам детонации предыдущего шага, отходит непосредственно от точки C ; при этом продукты детонации, находящиеся в зоне III, обтекают линию контактного разрыва CF , как выпуклый угол, и их течение описывается решением Прандтля — Майера:

$$p_{zCF} = p_{zAC} \left(\cos \sqrt{\frac{\kappa-1}{\kappa+1}} \varphi \right)^{\frac{2\kappa}{\kappa-1}}, \quad (2)$$

$$z = \varphi + \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{\kappa-1}{\kappa+1}} \operatorname{ctg} \sqrt{\frac{\kappa-1}{\kappa+1}} \varphi \right). \quad (3)$$

Показатели адиабат для областей III, V, VI мало различаются между собой, поэтому полагаем $\gamma_3 = \gamma_5 = \gamma_6 = \kappa$. Давление за фронтом ударной волны CG определяется выражением

$$p_6 = p_5 + \frac{2}{\kappa + 1} p_5 D_2^2 \left(\sin^2 \varphi_1 - \frac{C_5^2}{D_2^2} \right). \quad (4)$$

Фронт поперечной детонационной волны перпендикулярен линиям тока, поэтому:

$$\chi = \theta + \frac{\pi}{2}. \quad (5)$$

Связь между φ_1 и θ дается выражением

$$\frac{2}{\kappa - 1} = \frac{D_2^2}{C_5^2} \sin^2 \varphi_1 \left[\frac{\kappa + 1}{\kappa - 1} \frac{\operatorname{tg}(\varphi_1 - \theta)}{\operatorname{tg} \varphi_1} - 1 \right]. \quad (6)$$

Приравниваем правые части уравнений (2) и (4), выражающие давления по обе стороны контактного разрыва CF . Из полученного уравнения, а также из выражений (3), (5) и (6) можно найти значения углов φ , χ , φ_1 , θ , при заданных p_5 , p_6 , C_5 , D_2 . В надкритическом случае фронт ударной волны, разделяющий области V, VI, опережает точку C. В этом случае значение угла θ может быть определено из выражений (3), (5), (7):

$$p_{3AC} \left(\cos \sqrt{\frac{\kappa - 1}{\kappa + 1}} \varphi \right) \frac{2\kappa}{\kappa - 1} = \frac{2p_5}{\kappa + 1} D_2^2 + \Delta p. \quad (7)$$

Δp выражает изменение давления на участке между фронтом ударной волны и точкой C. Им можно пренебречь по сравнению с $\frac{2p_5}{\kappa + 1} D_2^2$.

Тогда

$$\theta = \sqrt{\frac{\kappa + 1}{\kappa - 1}} \arccos \left(\frac{2p_5 D_2^2}{(\kappa + 1)p_{3AC}} \right)^{\frac{\kappa - 1}{2\kappa}} + \arctg \left\{ \sqrt{\frac{\kappa - 1}{\kappa + 1}} \operatorname{ctg} \sqrt{\frac{\kappa - 1}{\kappa + 1}} \left[\sqrt{\frac{\kappa + 1}{\kappa - 1}} \arccos \left(\frac{2p_5 D_2^2}{(\kappa + 1)p_{3AC}} \right)^{\frac{\kappa - 1}{2\kappa}} \right] \right\} - \frac{\pi}{2}$$

Институт гидродинамики Сибирского
отделения Академии наук СССР

Поступила в редакцию
27/XI 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. W. A. Bone, R. P. Fraser, Phil. Trans., A, 230, 363, 1931.
2. К. И. Щелкин, Я. К. Трошин, Быстрое горение и спиновая детонация газов. Воениздат, М., 1948.
3. А. Н. Воинов, О механизме возникновения детонационного спина. ДАН СССР, т. 73, № 1, 1950.
4. Я. Б. Зельдович, А. С. Компанеев, Теория детонации. Гос. изд. техн.-теор. лит., М., 1955.
5. Б. В. Войцеховский, О спиновой детонации. ДАН СССР, т. 114, № 4, 1957.

И. А. ЯВОРСКИЙ

АЭРОДИНАМИКА ПОТОКА В ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЕ

Процессы взаимодействия газов (жидкостей) с твердыми телами нашли широкое распространение в различных отраслях техники: при разогреве, сушке и газификации твердого топлива, каталитических реакциях в газах и парах в присутствии твердых катализаторов, обжиге руд и других материалов в псевдооживленных средах и т. д.

Интенсификация подобных процессов достигается увеличением удельной поверхности взаимодействующих фаз путем применения твердых тел меньших размеров и повышением эффективности тепло- и массообмена с единицы поверхности путем увеличения относительных скоростей потока.

Наиболее эффективной формой твердых тел являются разрозненные частички с высокой удельной поверхностью на единицу объема (тонкостенные кольца и др.), применяемые в химических процессах в качестве сорбента и катализатора. Самое широкое распространение получили тела неправильной формы, образовавшиеся в результате дробления крупных кусков материалов (угля, руды и др.).

Под дисперсной средой в более узком значении понимается всякое порошкообразное, распыленное, зернистое, пористое тело, сухое или влажное [1]. Нами рассматриваются крупнозернистые материалы с размером частиц неправильной формы от десятков микрон до десятков миллиметров.

Структура слоя зернистого материала

Движение потока через пористую среду (одной из разновидностей которой является слой зернистого материала) не поддается точному теоретическому расчету из-за трудности определения формы и направления отдельных струй, на которые разбивается поток при прохождении по межкусковым зазорам.

Получившая наиболее широкое распространение модель слоя, предусматривающая замену всего разнообразия форм и размеров межкусковых пространств шероховатыми каналами с суммарным объемом, равным объему всех пространств, и диаметром, пропорциональным среднему размеру частиц [1—3], не может отражать истинную картину аэродинамического процесса. Это связано в первую очередь с тем, что за пределами ламинарной области (которая имеется в пористой засыпке при ничтожно малых скоростях) при просветности слоя менее 50% движение потока в малых скоростях) при просветности слоя имеет струйный характер [4]. Просветность межкусковых пространствах обычно не превышает 25%. Поэтому любого ряда частиц плотного слоя обычно не превышает 25%. Поэтому весь объем зазоров не может принимать одинаково активного участия в движении потока, что в значительной мере сказывается на сопротивлении по причине нелинейной зависимости его от скорости.

Более правильно будет относить скорость потока к живому сечению продуваемого материала [3, 5, 6], т. е. к просвету между частичками, кото-

рое названо коэффициентом порозности поверхности. Этот коэффициент можно получить аналитически, исходя из следующих соображений.

Допустим, что мы имеем сосуд прямоугольного сечения с размерами $n_1\delta \cdot n_2\delta$, где n_1 и n_2 — количество шаров, которое можно уложить в нем в каждом из этих направлений по горизонтали, δ — их диаметр. При произвольной укладке в каждом сечении расположится

шаров. ξ_1 и ξ_2 — коэффициенты уплотнения, характеризующие долю общего количества шаров, которые могли бы разместиться в один ряд при плотном квадратичном их расположении. Тогда средняя общая площадь просветов, приходящаяся на каждый ряд шаров, в долях от сечения сосуда, именуемая коэффициентом порозности поверхности, составит:

$$m' = \frac{n_1 n_2 \delta^2 - \frac{\pi}{4} \frac{n_1}{\xi_1} \frac{n_2}{\xi_2} \delta^2}{n_1 n_2 \delta^2} = 1 - \frac{\pi}{4} \frac{1}{\xi_1 \xi_2}. \quad (1)$$

Подобным образом может быть получен и объемный коэффициент порозности.

$$m = 1 - \frac{\pi}{6 \xi_1 \xi_2 \xi_3}. \quad (2)$$

Приняв коэффициенты уплотнения одинаковыми по всем трем направлениям, т. е. $\xi_1 = \xi_2 = \xi_3$, и подставив их значение в (1), после преобразований получим

для кубов
$$m' = 1 - (1 - m)^{\frac{2}{3}}, \quad (3)$$

для шаров
$$m' = 1 - 1,21 (1 - m)^{\frac{2}{3}}. \quad (4)$$

Формула (4) справедлива для любой формы частиц при вычислении их размера по среднему диаметру, определенному из условий равенства объемов. Анализ этих формул показал, что в зависимости от укладки при соприкосновении шаров друг с другом объемный коэффициент порозности m может изменяться в пределах $0,257 \div 0,477$, а соответствующий ему, согласно формуле (4), коэффициент порозности поверхности m' — в пределах $0,092 \div 0,214$.

Для натуральных дробленых материалов опытным путем была установлена зависимость порозности от размера частиц, следовательно, и от их формы. Так, частицы размером до 1 мм, полученные из газового угля Ленинского месторождения, имеют объемный коэффициент порозности 0,458, а размером 20—30 мм — 0,388. Примерно в таких же пределах изменяется коэффициент объемной порозности и частиц угля марки ПС Анжеро-Судженского месторождения.

Приняв площадь просвета, приходящуюся на одну частицу, как площадь эквивалентного круга с диаметром d , коэффициент порозности поверхности можно выразить следующим образом:

$$m' = \frac{\frac{\pi d^2}{4}}{\frac{\pi d^2}{4} + \frac{\pi \delta^2}{4}},$$

откуда средний размер просвета

$$d = \delta \sqrt{\frac{m'}{1 - m'}}. \quad (5a)$$

Выразив m' через m , получим для шарообразных частиц

$$d = \delta \sqrt[3]{0,827(1 - m)^{-\frac{2}{3}} - 1}. \quad (5)$$

для частиц кубической формы

$$d = \delta \sqrt[3]{(1 - m)^{-\frac{2}{3}} - 1}. \quad (5b)$$

Данные формулы справедливы для любого состояния дисперсной среды, включая кипящий и взвешенный слой, так как и в подобных случаях всегда скорость потока выше скорости частиц. Предложенный метод дает возможность определять средний диаметр просветов в дисперсной среде непосредственно без отыскания из опытов при ламинарном потоке весьма условных «факторов формы» [2] или удельной поверхности частиц [1, 3]. Кроме того, введение понятия порозности поверхности помогает получить более близкую к действительной физическую картину процесса прохождения потока через пористую среду.

Структура потока в слое зернистого материала

Для выяснения особенностей структуры потока рассмотрим вначале слой, состоящий из одного ряда частиц, покоящийся на очень тонкой сетке, просветность которой близка к 100%. В этом случае набегающий поток со скоростью W_ϕ разбивается на множество струй, размер которых определяется величиной просвета между рядом расположенными частицами, суммарная удельная площадь которых равна коэффициенту порозности m' . Тогда средняя скорость потока в этих просветах составит

$$W = \frac{W_\phi}{m'};$$

по абсолютной величине она всегда больше скорости фильтрации. Поэтому выходящие из межкусовых пространств потоки при $m' \ll 0,5$ представляют собой самостоятельные струи, обладающие определенной живой силой. Из них складывается система струй, действующих в ограниченном пространстве и обладающих рядом свойственных им закономерностей [7], которые существенно отличаются от таковых для одиночных свободных затопленных струй [8].

Выявленные закономерности для струй являются справедливыми в достаточно ограниченных пределах просветности слоя или решетки. Так, согласно данным Г. Шлихтинг [4], при обтекании решетки из круглых стержней с соотношением расстояния между струями и диаметром стержней $B/\delta = 8$ (чему соответствует живое сечение решетки 87,5%) отсутству-

ют самостоятельные струи и распределение скоростей по ширине спутного течения выражается периодической синусоидальной функцией с периодом T и совпадает с опытными данными. Проведенные И. Г. Бодем [9] исследования решеток из параллельных планок с острыми кромками показали, что слияние струй происходит в пределах их начального участка $\frac{x}{b} = 2,8 - 3,6$ или $\frac{x}{B} = 0,95 - 1,8$, где b — ширина струи и B — рас-

стояние между струями) при живом сечении решетки от 54 до 63%. Приведенные в [9] графики, построенные по данным опытов, показывают, что внутри системы плоскопараллельных струй имеются потоки обратного направления. Чем меньше живое сечение решетки, тем более четко они выражены. При этом токи возникают внутри камеры при живом

сечении решетки в 54%, на расстоянии $\frac{x}{b} = 6,7$ и в 63% — на расстоянии $\frac{x}{b} = 2,14$; при живом сечении решетки в 75% обратные токи не были обнаружены. Эти данные убедительно указывают на присутствие (хотя и на коротком расстоянии) достаточно четких струй с наличием обратных токов. Поэтому применительно к слою даже при кубическом расположении шаров (где второй и последующие ряды будут иметь одинаковые зазоры со строгим расположением частиц друг над другом) вся масса газа (жидкости) будет проходить через слой в виде отдельных струй, при очень слабом участии остального объема межкусковых пространств. В случае беспорядочного расположения частиц произвольной формы на любой высоте газ или жидкость проходит через сечение, равное среднему живому сечению слоя, в виде струй, которые, наталкиваясь на частицы, расположенные над ними, теряют часть энергии и несколько меняют направление, а при выходе из верхнего слоя, так же как и в однорядном слое, поток имеет строго струйный характер. Это указывает на то, что по физической сущности более правильным будет принять модель не системы каналов, суммарный объем которых равен объему межкусковых пространств, а системы решеток с вполне определенным живым сечением. В связи с этим общее сопротивление слоя может быть представлено как сумма местных сопротивлений отдельных решеток.

Отличительной особенностью таких решеток является то, что они могут быть отнесены к категории жестких только до вполне определенной скорости потока, так как при увеличении скорости мощность струй возрастает до величин, обеспечивающих изменение положения отдельных частиц или даже их перемещение. Это приводит к местным изменениям размеров проходных сечений, а затем и средней величины коэффициентов порозности. При переходе слоя в псевдооживленное состояние высота его увеличивается, чему соответствует и повышение коэффициентов порозности, которые в зависимости от степени оживления могут возрастать до величин, близких к единице (взвешенное состояние частиц). В подобных случаях самостоятельные струи внутри слоя даже временно не образуются.

Для обеспечения равномерной подачи дутья в слой особое значение имеет живое сечение колосниковых решеток, аналогично успокоительным решеткам в аэродинамических трубах.

Как уже указывалось, при очень большом живом сечении решетки самостоятельные струи не создаются; поэтому такие решетки не оказывают заметного влияния на структуру потока, и струи создаются внутри слоя. Отсутствие жестких решеток, способных стабилизировать равномерное распределение потока, приводит к местным прорывам газа в виде отдельных пузырей в кипящем слое, а в плотном — к образованию «кратеров». Увеличение расходов дутья мало изменяет общую картину процесса. Рекомендации о создании для борьбы с подобными явлениями решеток с большим коэффициентом местного сопротивления [10] не нашли практического применения из-за трудности конструктивного осуществления и больших расходов энергии.

В качестве радикальной меры рекомендуется применение решеток со значительно меньшим живым сечением, чем живое сечение слоя [11]. Проведенные исследования в этом направлении показали, что из таких решеток дутьевой поток выходит в виде системы мощных струй, которые способны обеспечить равномерное перемещение всех частиц, находящихся в слое в пределах их воздействия, независимо от размеров и характера временно образующихся каналов в кипящем слое, и достаточно равномерное продувание плотного слоя, имеющего разное сопротивление.

Для установления основных особенностей аэродинамики потока в дисперсной среде нами детально исследованы:

а) движение разрозненных частиц в начальном участке струй и равномерном потоке;

б) основные аэродинамические особенности псевдооживленного слоя. (Некоторые аэродинамические особенности слоя свободной засыпки зернистого материала изложены ранее [11]).

Движение разрозненных частиц различной формы в начальном участке струй и равномерном потоке

Учитывая большую сложность взаимодействия потока с дисперсной средой, состоящей из зернистого материала, интересно выяснить особенности взаимодействия потока постоянной скорости с отдельными частицами различной формы, что имеет место при выносе самых мелких частиц из слоя и во взвешенном слое.

В общем случае характер взаимодействия частицы с массой M и плотностью γ_m может быть выяснен из общеизвестного уравнения свободного падения тела весом G в среде с плотностью γ_z :

$$M \frac{dW}{d\tau} = G \frac{\gamma_m - \gamma_z}{\gamma_m} - C \frac{W^2}{2g} \gamma_z f_m,$$

где W — относительная скорость в м/сек,

f_m — миделево сечение частицы (площадь частицы, проектирующаяся на плоскость, нормальную к направлению ее движения) в m^2 ,

C — коэффициент лобового сопротивления частицы,

τ — время в сек.

Для установившегося движения ускорение отсутствует, т. е.

$$\frac{dW}{d\tau} = 0.$$

Выразив вес частицы через объем ($G = v\gamma_m$) и обозначив

$$\frac{f_m}{v} = K_f \frac{1}{\delta} \quad (6)$$

(где K_f — коэффициент, зависящий только от формы частиц и характеризующий изменение удельного миделева сечения по отношению к шару,

v — объем частицы),

после ряда несложных преобразований получим уравнение витания частиц

$$\delta = \frac{K_f C \gamma_z}{2g(\gamma_m - \gamma_z)} W^2, \quad (7a)$$

или в критериальной форме

$$K_i = \frac{2}{3} K_f C Re_a^2, \quad (7)$$

где $K_i = \frac{4}{3} \frac{v^2 g (\gamma_m - \gamma_z)}{\gamma_z^2}$ — гидродинамический критерий Кирпичева,

δ — размер частиц, вычисленный по среднему объему частиц, в m ,

v — коэффициент кинематической вязкости газа,

g — ускорение силы тяжести,

Re_a — критерий Рейнольдса, определенный по среднему размеру частиц δ и скорости витания.

Анализ формулы (7) показывает, что при движении частицы в этой модельной области, где коэффициент сопротивления C не зависит от критерия Рейнольдса и является постоянным [12], зная размер частицы, а также миделево сечение или коэффициент K_f , без большого труда можно определить предельную скорость, при которой будет устойчивое вращение.

В литературе имеется достаточно опытных данных и для диапазонов скоростей, при которых коэффициент сопротивления зависит от критерия Рейнольдса, включая ламинарную и переходные области [9, 13, 14], что дает возможность определить скорость вращения тел различной формы. Однако эти данные относятся главным образом к закрепленным телам правильной геометрической формы или свободнопадающим частицам, имеющим форму шара.

При форме частиц, отличных от шара, для правильного определения скорости вращения обязательно нужны данные о величине миделева сечения.

Удельное миделево сечение различных тел

При изменении положения несферообразных тел по отношению к направлению потока изменяется в определенных пределах и величина миделева сечения. Наименьшему миделеву сечению $f_m^{\min}$ соответствует более высокая скорость вращения $W_{\max}$ и наоборот. Воспользовавшись формулой (7а) и (6), после несложных преобразований получим

$$\frac{W_{\max}}{W_{\min}} = \sqrt{\frac{K_f^{\max}}{K_f^{\min}}} \quad (8)$$

Из этой формулы видно, что предел изменения скоростей вращения несферообразных частиц зависит от соотношения предельных значений коэффициентов K_f , которые в зависимости от формы частиц и соотношения их главных размеров могут изменяться в очень больших пределах (табл. 1).

Таблица 1

Значение величин $f_m = \frac{K_f}{2}$ для различных положений цилиндра длиной l по отношению к направлению потока

$\frac{l}{d}$	0,01	0,1	0,5	1	2	5	10	100
Положение цилиндра								
Вертикальное	100	10	2	1	1	1	1	1
Горизонтальное	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27
По диагонали	100	10,3	2,095	1,607	1,355	1,276	1,27	1,27

Приведенный пример показывает, что очень тонкие диски ($\frac{l}{d} < 0,1$) и длинные цилиндры ($\frac{l}{d} > 10$) имеют настолько большой предел скоростей вращения, что обеспечить устойчивое их вращение практически очень трудно. Поэтому при производстве практических расчетов вращения частиц только при учете пределов изменения удельного миделева сечения

f_m можно произвести правильный выбор требуемого диапазона скоростей или указать практически допустимый предел его изменения.

Расчеты показали, что для большинства широко встречающихся форм (цилиндр, параллелепипед, конус, призма) меньше всего удельное сечение изменяется при $\frac{l}{d} = 1,2 \div 1,3$, для которого $0,8 < K_f < 2,4$, чему будет соответствовать изменение предельных скоростей в 1,73 раза.

При $\frac{l}{d} = 0,7$ для призматических тел и $\frac{h}{d} = 2$ для пирамидальных при обтекании их вдоль оси симметрии величина K_f будет близка к таковой для шара.

Чтобы выяснить допустимый предел изменения скоростей для обеспечения устойчивого вращения угольных частиц, был произведен обмер большого количества (более 300) кусков углей Кузбасса различных размеров и разных марок. При этом было установлено, что большинство из них напоминает по форме усеченную пирамиду при очень незначительном количестве плитчатой формы, с отношением наибольшего размера к наименьшему от 1,3 до 2,3. Сопоставление значений K_f для кусков угля и тел правильной геометрической формы показывает, что нижний предел изменения K_f для угля совпадает с минимальными значениями для тел правильной формы ($K_f = 0,8 \div 2,4$), а верхний ($\frac{l}{d} = 2,3$) находится в пределах $K_f = 0,4 \div 2,1$, которому соответствует изменение скорости вращения от 1,7 до 2,3 раза.

Если бы средняя расчетная величина K_f была принята для угля равной 1,5, то при этом была бы допущена ошибка в определении скоростей для $\frac{h}{d} = 1,3$ в $\pm 27\%$, а для $\frac{h}{d} = 2,3$ — в $+37\%$ и -17% .

Для установления пределов изменения скоростей вращения угольных частиц были проведены специальные опыты с узкофракционированными частицами в вертикальной камере размером 100×100 мм высотой 600 мм, одна из стенок которой была из стекла. Минимальная скорость устанавливалась по началу выноса из камеры самых мелких частиц, а максимальная — самых крупных. Средние величины скоростей, полученных в опытах, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Предельные скорости вращения частиц угля $\gamma_m = 1,25$ г/см³ в воздушном потоке при комнатной температуре

Размер частиц, мм				Скорость вращения, м/сек			
d_{cp}	$d_{\max}$	$d_{\min}$	$\frac{d_{\max}}{d_{\min}}$	$W_{\max}$	$W_{\min}$	$\frac{W_{\max}}{W_{\min}}$	$\frac{K_{f\min}}{K_{f\max}}$
0,062	0,074	0,053	1,4	1,30	0,82	1,57	0,410
0,088	0,105	0,074	1,41	1,30	0,98	1,33	0,560
0,130	0,149	0,105	1,42	1,30	0,90	1,44	0,485
0,176	0,210	0,149	1,41	1,84	1,20	1,53	0,430
0,247	0,297	0,210	1,42	2,60	1,65	1,57	0,410
0,352	0,420	0,297	1,42	2,75	2,20	1,25	0,650
0,495	0,590	0,420	1,41	4,45	2,43	1,83	0,300
0,700	0,840	0,590	1,42	5,65	3,57	1,58	0,400
1,170	1,680	0,840	2,00	7,55	5,70	1,32	0,580
2,520	3,360	1,680	2,00	—	7,40	—	—

Примерно такие же пределы скоростей витания для более крупных кусков породы были получены другими авторами [13].

Приведенные данные показывают, что частицы природных дробленых материалов имеют несколько меньший предел изменения скорости витания, чем получено теоретически для фигур правильной геометрической формы.

При решении практических вопросов желательно иметь численные выражения «степени неправильности» частиц по отношению к шару равного объема. Наиболее простым считается принимать отношение поверхности шара с объемом, равным объему данной частицы, к ее поверхности. Это отношение принято называть коэффициентом сферичности [14]. Чтобы определить этот коэффициент, необходимо знать общую геометрическую поверхность частиц, имеющих форму, отличную от шара. Для частиц правильной геометрической формы она может быть определена непосредственным замером. Для частиц неправильной формы это представляет значительные трудности.

Нами было проведено измерение поверхности угольных частиц путем покрытия их тонкой пленкой пластического вещества (коллодий, пластилин и др.) с последующим планиметрированием полученной поверхности после ее снятия и разрезки на плоские пластины. Таких опытов с частицами от 3—4 мм до 30—40 мм было проведено несколько сот. По полученным данным была построена кривая, математическое выражение которой

$$f' = 6,7 \delta^{-1,08} \text{ м}^2/\text{м}^3, \quad (9)$$

где δ — усредненный по объему диаметр частиц в м,
 f' — удельная поверхность угольных частиц естественной формы.
 Исходя из этого, коэффициент сферичности будет

$$K_{\text{сф}} = \frac{f_{\text{ш}}}{f'} = 0,895 \frac{\delta^{1,08}}{d}, \quad (10)$$

где $f_{\text{ш}}$ — удельная поверхность шара в $\text{м}^2/\text{м}^3$,
 d — его диаметр.

Эта формула показывает, что для каменного угля коэффициент сферичности находится в зависимости от размера частиц.

Ввиду сложности расчетов по разной величине K_f в качестве грубого приближения принимаем за среднюю величину удельное миделево сечение для шара с учетом коэффициента сферичности, т. е.

$$K_f = K_{\text{ш}} K_{\text{сф}}. \quad (11)$$

Однако всегда необходимо учитывать, что витание частиц происходит при достаточно широком диапазоне скоростей. Поэтому, в зависимости от поставленной задачи (устойчивое витание всех частиц или витание основной массы без заметного выноса), полученную скорость по средней величине K_f для шара необходимо увеличить или уменьшить в соответствии с пределом изменения K_f для частиц данной формы.

Рекомендации по применению в качестве расчетной величины «седиментационного» (стоковского [14]) радиуса за пределами автомодельной области нельзя признать правильным, так как это приводит к определению неистинных значений Re и затрудняет установление области, в которой должен определяться коэффициент сопротивления частиц.

Коэффициент вихревого сопротивления нешарообразных частиц

Как известно из гидромеханики, вихревое сопротивление является основной составляющей сопротивления давления, а при отрывном обтекании — практически равно ему.

Отрывной режим, характеризующийся наличием в кормовой области тел обратных течений и сосредоточенных вихревых струй, зависит от формы тела, скорости его обтекания и режима течения в пограничном слое. Образование вихрей знакопеременного направления, а также торможение у стенок тела приводят к переводу части кинетической энергии в тепловую.

Совместное решение уравнений количества движений и импульсов при незначительном перепаде давлений дает возможность определить коэффициент сопротивления при отрывном обтекании [12]:

$$C_{\text{д.л}} = 1,59 \frac{Re_s}{Re_0} - 0,63 \frac{d}{l_s} \frac{Re_s^2}{Re_0^2}, \quad (12)$$

где d — характерный линейный размер поперечного сечения тела,
 l_s — расстояние между центрами вихрей в ряду,

$Re_0 = \frac{d W_0}{\nu}$ — критерий Рейнольдса потока,

$Re_s = \frac{l_s W_s}{\nu}$ — критерий Рейнольдса вихрей.

Из этой формулы видно, что коэффициент сопротивления находится в зависимости от соотношения между вихревыми скоростями и скоростью потока. Однако, как показали многочисленные опыты, при значительной турбулизации потока это соотношение становится постоянным ($\frac{Re_s}{Re_0} = C$)

и наступает автомодельная область. При этом, согласно опытным данным, для шара она наступает при $Re \approx 1000$, цилиндра — 150—200 и пластины ≈ 50 [12], а для частиц с более острыми углами при $Re \approx 10$ [14], что указывает на существенное влияние формы тела. При увеличении турбулизации, естественно, автомодельная область будет наступать при значительно меньших Re , так как быстрее стабилизируются вихревые скорости. Поэтому, за исключением тонких пылей ($\delta < 50$ —100 м), для нешарообразных частиц с достаточно острыми кромками (дробленые угли, минералы и др.) коэффициент сопротивления витающих частиц должен практически не зависеть от Re . Это подтверждается нашими опытными данными с витающими частицами каменного угля размером от 0,056 до 3,36 мм (рис. 1, см. также [15]).

Представленные на графике опытные точки были получены путем визуального наблюдения начала и конца выноса частиц одинакового размера из камеры высотой 600 мм с сечением 100×100 мм, поэтому они не претендуют на особую точность, но если учесть вышесказанное о пределах скоростей витания нешарообразных частиц, по-видимому, вряд ли возможно определить с большей точностью среднюю скорость витания. Поэтому такой разброс точек можно считать закономерным.

В результате обработки опытных данных было получено

$$\delta = K \cdot W^2, \quad (13)$$

где $K = 3,18 \cdot 10^{-5} (\text{м}^{-1})$.

Раскрывая постоянный множитель согласно формуле (7а), учитывая для условия опыта, что $\gamma_m = 1250 \text{ кг/м}^3$ и $\gamma_s = 1,165 \text{ кг/м}^3$, получили $K_f C = 0,668$.

Учитывая формулы (10) и (11), а также то, что формула (9) получе-

на для этого же угля, нашли, что коэффициент вихревого сопротивления витающих частиц в зависимости от их размера составляет 0,452 для $\delta = 0,2$ мм и 0,552 для $\delta = 2$ мм. Полученные закономерности справедливы в пределах критерия Кирпичева $Ki = 4 \div 8 \cdot 10^6$ и $Re = 4 \div 1,5 \cdot 10^4$. Сопоставление этих данных с [12] для автомодельной области указывает на удовлетворительное совпадение для частиц малого размера с шаром, а более крупных с цилиндром и пластиной, а также с частицами фрезерного торфа [15]. Такое явление связано, видимо, с наличием вращательного движения витающих частиц, вследствие чего более быстро наступает автомодельная область и меньше сказывается влияние их формы.

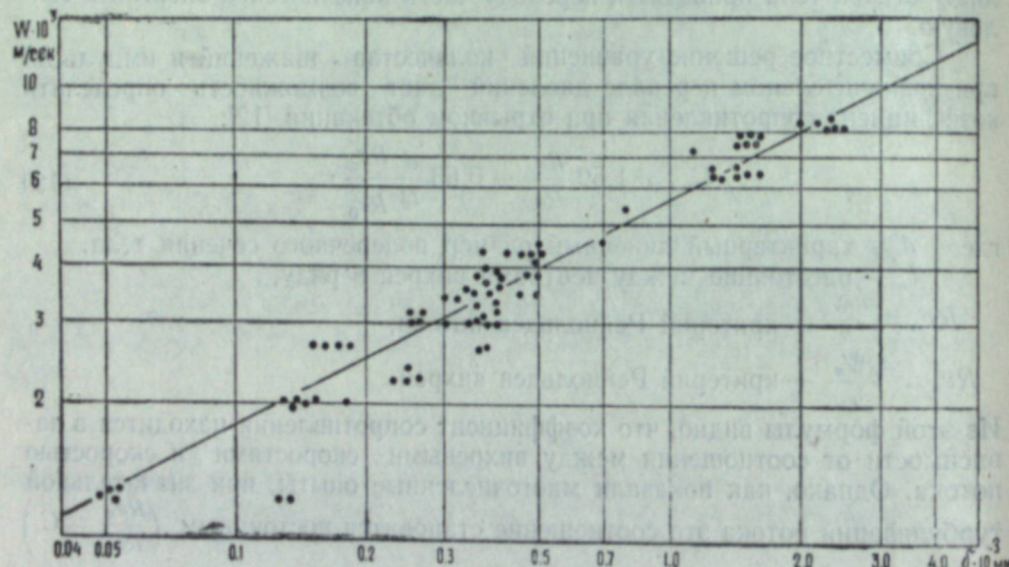


Рис. 1.

Скорость движения частиц в восходящем потоке

При решении практических задач, связанных с взаимодействием потока с дисперсной средой, важно установить закономерности изменения скорости частиц при воздействии на них потока со скоростью, превышающей скорость витания. В этом направлении проделана значительная работа [16]. Однако решения даны для частных случаев без обобщения в критериальном виде, что затрудняет практическое их использование.

Движение разрозненных частиц, имеющих массу M , в выходящем равномерном потоке может быть описано уравнением

$$M \frac{dW_m}{dt} = -Mg + \frac{C}{2g} (W_s - W_m)^2 F' \gamma_g, \quad (14)$$

где W_m и W_s — скорость частиц и скорость газа, м/сек,

g — ускорение силы тяжести,

F' — среднее миделево сечение, m^2 ,

γ_g — удельный вес газа, kg/m^3 .

Исходя из условий витания частиц,

$$Mg = CF' \frac{W_s^2}{2g} \gamma_g, \quad (15)$$

где W_s — скорость витания.

После совместного решения этих уравнений, ряда преобразований и интегрирования получено

$$1 - \frac{W_m}{W_s + W_s} = e^{-\frac{2g\tau}{W_s}} \quad (16)$$

или в критериальном виде

$$1 - \frac{Re_m \frac{1}{Re_s}}{1 + \sqrt{\frac{Ki}{C} \frac{1}{Re}}} = e^{-\frac{2g\tau}{W_s}} \quad (17)$$

где $\Phi_1 = \sqrt{\frac{Cg}{\gamma_g} \frac{\tau}{\delta}}$ — критерий, характеризующий время движения частицы до момента достижения ею скорости

$$Re_m = \frac{W_m \delta}{\nu}$$

δ — размер частиц в м,

Ki — критерий Кирпичева (7),

C — коэффициент вихревого сопротивления частиц,

$Re = \frac{W_s \delta}{\nu}$ — критерий Рейнольдса основного газового потока

Построенный по этой формуле график (рис. 2) показывает особенности взаимосвязи между безразмерной скоростью частицы Re_m и временем ее достижения Φ_1 при различных соотношениях между скоростью витания

$Re_s = \sqrt{\frac{Ki}{C}}$ и абсолютной скоростью потока Re_s . Данный график может быть использован и для производства практических расчетов. Такие расчеты несложны при пользовании рис. 2 для автомодельной области. При производстве расчетов для переходной области, где $C = f(Re)$, для нахождения C и скорости витания Re_s удобно пользоваться табл. 5 из [14].

Анализ формулы (17) и построенного по ней графика показывает, что значительное превышение скорости потока над скоростью витания ($Re_s < 0,7$) обеспечивает более быстрое достижение частицами повышенных скоростей и выравнивание их со скоростью витания.

Приведенные данные справедливы и для расчета перемещения разрозненных частиц в равномерном потоке или струе в пределах начального участка в предположении, что они находятся в зоне действия начальных скоростей.

За пределами начального участка струи теоретическое решение представляет значительные трудности и становится очень громоздким и к тому же малонадежным.

Путь, проходимый частицами в начальный период движения в равномерном потоке

Для полного решения задачи движения частиц в потоке и построения их траектории необходимо знать путь, пройденный в любой момент времени.

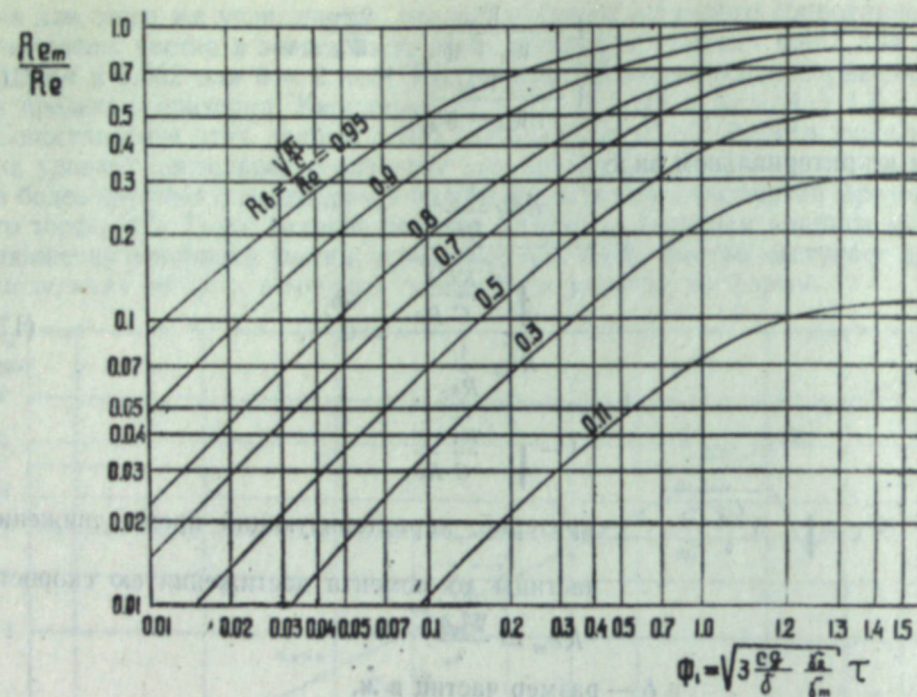


Рис. 2

В общем виде длина пройденного каждой частицей пути составляет

$$L = \int_0^{\tau} W_m d\tau. \quad (18)$$

Решив уравнение (16) относительно W_m и подставив полученное значение в (18), получим

$$L = \int_0^{\tau} \left(W_z + W_s - \frac{2W_s}{\frac{W_z - W_s}{W_z + W_s} e^{\frac{2g\tau}{W_s}} - 1} \right) d\tau. \quad (18a)$$

После интегрирования и ряда преобразований имеем в критериальном виде

$$L = \Phi_2(Re - Re_s) + \frac{4}{3} C \frac{\gamma_m}{\gamma_z} \ln \frac{2 \frac{Re_s}{Re}}{\left(\frac{\Phi_1}{e+1} \right) \frac{Re_s}{Re} - \left(\frac{\Phi_1}{e-1} \right)} \quad (19)$$

где $L = \frac{L}{\delta}$ — длина пути в калибрах среднего размера частиц,

$\Phi_2 = \frac{\gamma}{\delta^2} \tau$ и $\Phi_1 = \sqrt{\frac{3 C g}{\delta \gamma_m}} \tau$ — симплексы, характеризующие время прохождения частицей пути L .

С помощью данной формулы представляется возможным определить время пребывания частицы в пределах начального участка струи, а по формуле (17) можно определить, какую она к этому моменту времени приобретает скорость.

Допустим, дано $\delta_{cp} = 1,17$ мм, $\gamma_m = 1250$ кг/м³, $\gamma_z = 1,165$ кг/м³, $Ki = 79800$, при $C = 0,445$, $Re_s = 425$, чему соответствует $W_s = 5,9$ м/сек.

Для случая, когда скорость потока превышает скорость витания на 10% ($\frac{Re_s}{Re} = 0,9$), согласно графику рис. 2 для $\frac{Re_m}{Re} = 0,35$ $\Phi_1 = 0,1$, чему соответствует $\tau = 0,029$ сек. Подставляя полученные значения в формулу (19), получаем $L = \frac{L}{\delta} = 28,1$, откуда $L = 28,1 \cdot 1,17 = 32,8$ мм. За это время частица достигает скорости

$$W_m = 5,9 \cdot 0,35 = 2,06 \text{ м/сек.}$$

Выводы

1. Предложена модель структуры слоя, которая более правильно отображает физическую сущность происходящих в слое процессов, по сравнению с моделью системы каналов, и дает возможность с помощью легко определяемого объемного коэффициента порозности рассчитывать живое сечение слоя и размер межкусковых просветов.
2. Показано, что проходящий через слой поток, имея струйный характер, подчиняется закономерностям работы системы струй.
3. Установлено, что все нешарообразные частицы могут устойчиво витать только в определенном диапазоне скоростей, который определяется по пределам возможного изменения величины миделева сечения, учитываемого специальным коэффициентом.
4. Дано упрощенное решение задач движения частиц в потоке в удобном для практического использования критериальном виде.

Западно-Сибирский
филиал Академии наук СССР

Поступила в редакцию
22/X 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ф. Чухновский, Теплообмен в дисперсных средах. Изд. ТТЛ, М., 1954.
2. С. М. Каган, Аэродинамика свободнолежащего слоя. Сб. Иссл. процессов горения н.т. топлива, ГЭИ, 1948.
3. О. М. Тодес, Основные проблемы адсорбции и катализа на движущемся и взвешенном слое. Сб. 1, Методы и процессы химической технологии. Изд. АН СССР, М.—Л., 1955.
4. Г. Шлихтинг, Теория пограничного слоя, ИЛ, М., 1956.
5. И. А. Яворский, Сжигание углей Анжеро-Судженского месторождения на цепной решетке. Дисс. Томск, 1948.
6. Л. С. Лейбензон, Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. Руководство по нефтепромысловой механике, ч. 1, Техизд., М., 1947.
7. И. А. Яворский, О структуре потока одиночной струи и системы плоскопараллельных струй. Изв. Сиб. отделения АН СССР, № 2, 1958.
8. Г. Н. Абрамович, Турбулентные свободные струи жидкостей и газов. ГЭИ, М., 1948; Прикладная газодинамика, ГЭИ, 1953.
9. J. G. Vohl, Das Verhalten paralleler Luftstrahlen, Ingenier-Archiv, XI, B. 4, August, 1940.
10. И. М. Федоров, Теория и расчет процесса сушки, ГЭИ, М., 1955.
11. И. А. Яворский, Повышение эффективности сжигания рядовых углей при изменении топок с пневматической рассортировкой углей. Изд. ин-та, ИТИ АН СССР, М., 1958.
12. А. Н. Патрашев, Гидромеханика, Военизгиз, 1953.
13. В. А. Успенский, Пневматический транспорт. Металлургиздат, 1952.
14. Н. А. Фукс, Механика аэрозолей. Изд. АН СССР, М., 1955.
15. А. В. Лыков, Тепло- и массообмен в процессах сушки. ГЭИ, М., 1956.
16. З. Ф. Чуханов, Г. Н. Худяков, К вопросу о движении частиц в газовом потоке. ДАН СССР, т. LXXVIII, № 4, 1951.

В. В. КАМЕНСКИЙ

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ УДАРОМ

Землеройные машины рассчитаны в основном на выемку талых грунтов. Скальные породы, крепкие угли и грунт в мерзлом состоянии разрабатываются этими машинами лишь после предварительной обработки: угли и горные породы рыхлят взрывом, а мерзлые грунты оттаивают или рыхлят механически.

Все эти породы, угли и мерзлые грунты отличаются повышенной крепостью. Так, для гранитов временное сопротивление сжатию колеблется в пределах от 1000 до 3000 кг/см², для песчаников — 1000—2000, известняков — 400—900, сланцев 400—800, железных руд 150—1800, углей 300—600 кг/см². Для мерзлых грунтов (в зависимости от температуры, влагосодержания и гранулометрического состава) эта величина также колеблется в широких пределах и достигает 200 кг/см² [1—3]. В то же время для талых грунтов временное сопротивление сжатию немного превосходит 1 кг/см². Сопоставляя эти цифры, нельзя не прийти к выводу о практической невозможности экскавации нормальными рабочими органами землеройных машин горных пород, углей и мерзлых грунтов без предварительного понижения их прочности.

Такая дополнительная обработка неизбежно удорожает работы, увеличивает их трудоемкость, уменьшает производительность экскавационных машин и т. д. Как показывает практика, зимой стоимость земляных работ повышается в 2—2,5 раза. Действующие нормы предусматривают снижение зимней выработки экскаваторов в 4—5 раз по сравнению с летней.

Разработка мерзлого грунта существующими методами характеризуется чрезвычайно большой удельной энергоемкостью процесса. Если для обычных экскаваторных работ удельная энергоемкость процесса выемки составляет 0,3—0,5 квт-ч/м³, то для выемки мерзлых грунтов эти показатели характеризуются следующими цифрами [4]: экскавация с предварительным оттаиванием электротоком — 40—80 квт-ч/м³, паром — 30 квт-ч/м³, водой — 7 квт-ч/м³, с предварительным нарезанием массива грунта на блоки — 3—7 квт-ч/м³.

Создание экскавационных органов для непосредственной разработки углей, пород и мерзлых грунтов, бесспорно, является чрезвычайно интересной задачей; решение ее может принести большие экономические выгоды.

Конечно, трудно создать единый орган для разработки всех горных пород, так как их крепость колеблется в чрезвычайно широких пределах. На первый случай можно ставить вопрос о создании экскавационного органа для выемки лишь слабых горных пород, крепких углей и мерзлых грунтов с верхним пределом прочности при сжатии до 350—400 кг/см².

Одним из возможных путей решения поставленной задачи может явиться изменение принципа воздействия режущей кромки рабочего

органа на разрабатываемый грунт или породу: замена обычного резания разрушением группой ударных инструментов.

Поскольку породы, для разработки которых предназначается использовать такой принцип, являются телами хрупкими, то можно предполагать, что ударное разрушение окажется наиболее эффективным.

Исследованием процесса ударного разрушения пород, углей и мерзлых грунтов занимался Институт горного дела АН СССР, Ленинградский горный институт, Западно-Сибирский филиал АН СССР и другие организации [3, 5, 6].

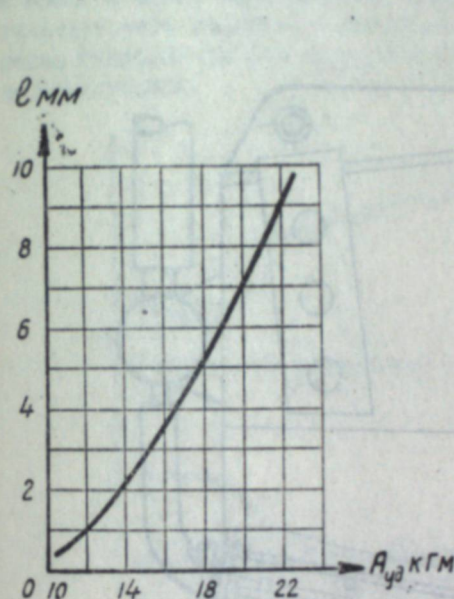


Рис. 1. Среднее внедрение резца за удар в зависимости от энергии удара.

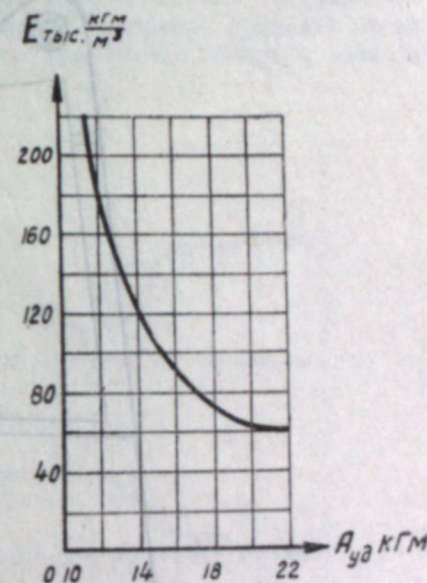


Рис. 2. Удельная энергоемкость процесса разрушения мерзлого грунта в зависимости от энергии удара.

В 1952—1953 гг. ИГД АН СССР для разработки мерзлых грунтов сконструировал опытный экскаваторный ковш с зубьями ударного действия. Так как в распоряжении ИГД АН СССР не имелось необходимых исходных данных, то для первой попытки на ковш были установлены стандартные молотки ОМСП-5. Энергия их удара оказалась недостаточной для внедрения резца с требуемой скоростью, и опыты были прекращены.

Чтобы получить исходные данные для проектирования экскавационного ковша, снабженного на режущей кромке группой ударных инструментов, лаборатория механизации горных работ ЗСФАН СССР провела в полевых условиях на пылевато-илистом грунте естественной влажности серию предварительных опытов. Температура грунта колебалась от —4,5 до —10° С. Для исследований был спроектирован и изготовлен специальный трехкопровой стенд, который позволял изучать явления, протекающие при разрушении грунта ударом с энергией от 12 до 37 кгм, и давал возможность записывать величину внедрения резца за один удар.

Эти опыты позволили установить зависимости величины внедрения резца в грунт от энергии единичного удара, толщины скалываемой стружки, количества наносимых по хвостовику резца ударов и т. д. Некоторые из этих зависимостей показаны на рис. 1, 2.

Нужно заметить, что результаты опытов, проведенных на мерзлом

грунте, во многом сходны с результатами, полученными на угле в Ленинградском горном институте [5].

Из приведенных кривых видно, что с увеличением энергии единичного удара при постоянной толщине скалываемой стружки глубина внедрения резца возрастает. В то же время энергоемкость процесса разрушения уменьшается, но только до определенного предела. Энергия удара, при которой удельная энергоемкость E приобретает минимальное значение, должна быть оптимальным параметром при создании ударных инструментов для режущей кромки. Но при проектировании следует учитывать и

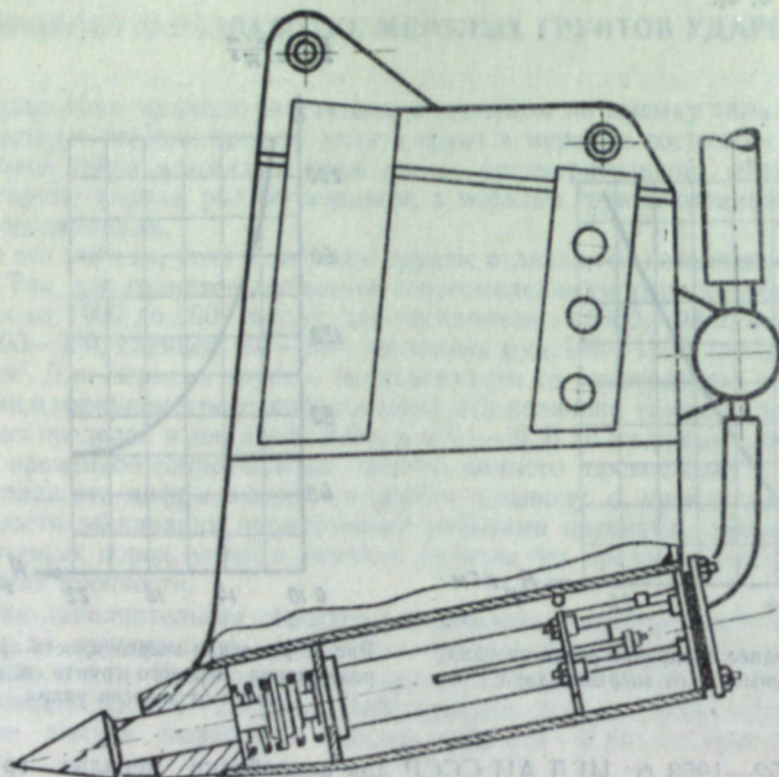


Рис. 3. Экспериментальный ковш с зубьями активного действия.

тот факт, что толщина стружки и скорость внедрения резца должны обеспечить наполнение экскаваторного ковша и движение его с требуемой скоростью. Поэтому необходимо ориентироваться не на оптимальное значение энергоемкости единичного удара, а на какой-то диапазон, лежащий в области, близкой к нему.

Применительно к размерам стружки, практически обеспечивающим нормальную работу экскаватора с ковшом емкостью $0,5 \text{ м}^3$, ударные машины должны иметь мощность $8-9 \text{ л. с.}$, энергию удара около 30 кгм и число ударов $1000-1200$ в минуту.

На основании полученных данных лабораторией механизации горных работ ЗСФАН СССР был спроектирован и изготовлен экспериментальный экскаваторный ковш с зубьями активного действия для разработки мерзлых грунтов (рис. 3).

В отсеке на передней стенке ковша за зубьями расположены пневматические машины ударного действия. Удар на хвостовики зубьев передается через промежуточные тела, зажатые между двух пружин. Благодаря

этим пружинам промежуточное тело находится в постоянном контакте с хвостовиком зуба, что обеспечивает наиболее эффективную передачу удара от бойка на разрушаемый материал.

Машины ударного действия включаются в работу лишь после того, как усилие на подъемном или тяговом тросе ковша экскаватора достигнет предела, развиваемого приводом землеройной машины. С этой целью в конструкции ударного устройства для каждого молотка предусмотрен специальный автомат пуска.

Работа его заключается в следующем. При достижении на зубе предела усилий, заданного тарированными пружинами, зубья утапливаются в ковш и через передающую систему открывают пусковой клапан, в результате чего машины и включаются в работу. Наличие автомата пуска резко снижает расход воздуха и позволяет включаться каждой машине индивидуально.

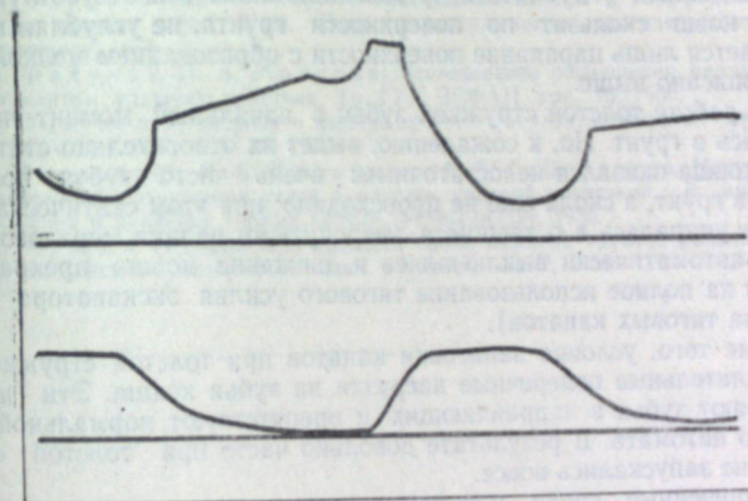


Рис. 4. Индикаторная диаграмма пневматического молотка.

Машина ударного действия с автоматом пуска конструктивно выполнена совместно с крепящими устройствами в виде отдельных для каждого зуба взаимозаменяемых монтажных блоков. Подвод воздуха для работы машин ударного действия осуществляется от распределительного коллектора на ковше, индивидуально к каждой машине.

После доводки была получена следующая характеристика молотков: энергия удара — 32 кгм , число ударов — 980 в мин., расход воздуха — $9,8 \text{ м}^3$ в мин.

С работающих молотков были сняты индикаторные диаграммы. Диаграмма с молотка № 5 представлена на рис. 4.

Полевые испытания опытного ковша проводились зимой 1956—1957 г. на площадке строительного треста № 145 в Новосибирске. Для испытаний были использованы экскаватор Э-505А, компрессор и другое необходимое оборудование. В воздушную сеть был включен ресивер. Наличие ресивера и автомата запуска позволило в дальнейшем работать с одним компрессором производительностью 6 м^3 в мин. Испытания проводились на массиве пылевато-илистого грунта естественной влажности. Экскаватор был оснащен рабочим оборудованием обратной лопаты.

В процессе испытаний запрокинутая система подачи воздуха и автомат запуска действовали безотказно. Машины ударного действия были выполнены достаточно просто и надежно. Но следует заметить, что

опыт показал нежелательность попадания влаги в золотниковую коробку. Наличие влаги приводило к примерзанию золотников после ночи хранения ковша на морозе, и молотки не запускались.

Наблюдения за работой ковша показали следующее.

При работе тонкой стружкой (5—6 см) грунт легко разрабатывался. При этом наблюдалось энергичное скалывание, сопровождавшееся разрывом весьма мелкой стружки. Последнее можно объяснить чрезмерно большой для данной толщины стружки энергией единичного удара.

Нужно отметить, что принятая при проектировании ориентация на оборудование обратной лопаты оказалась не совсем удачной. Схема запасовки каната у обратной лопаты такова, что в первую половину черпания угол между направлением тягового каната и осью зуба превышает 90° . В этих условиях зубья ковша воздействуют на разрабатываемый грунт не режущей кромкой, а передней гранью и силы, благодаря действию которых ковш должен углубляться, чрезвычайно малы или отсутствуют вовсе. Поэтому ковш скользит по поверхности грунта, не углубляясь в него. Наблюдается лишь царапание поверхности с образованием мелкой стружки, как описано выше.

При работе толстой стружкой зубья в начальный момент энергично внедрялись в грунт. Но, к сожалению, вылет их относительно статической кромки ковша оказался недостаточным: очень часто зубья полностью уходили в грунт, а скола еще не происходило; при этом статическая кромка ковша упиралась в оставшиеся нетронутыми целики мерзлого грунта, молотки автоматически выключались и движение ковша прекращалось, несмотря на полное использование тягового усилия экскаватора (вплоть до обрыва тяговых канатов).

Кроме того, условия запасовки канатов при толстой стружке вызывают значительные поперечные нагрузки на зубья ковша. Эти нагрузки заклинивают зубья в направляющих и препятствуют нормальной работе пускового автомата. В результате довольно часто при толстой стружке молотки не запускались вовсе.

Ограниченные сроки испытания машины не позволили поставить более широких экспериментов для исследования работы ковша в производственных условиях. Однако испытания еще раз подтвердили, что создание рабочих органов активного действия для разработки слабых горных пород, крепких углей и мерзлых грунтов вполне возможно.

Для этого необходимо более детально изучить происходящие процессы и создать научные основы проектирования подобных конструкций.

Особенное внимание должно быть направлено на совершенствование режущей кромки. Путем дальнейших исследований нужно определить оптимальные мощности ударных машин, частоту ударов, энергию единичного удара и т. п. Над выполнением этой задачи трудится сейчас коллектив лаборатории механизации Института горного дела ЗСФАН.

Кроме повышения производительности экскаваторного парка, занятого на разработке пород, углей и мерзлых грунтов, решение поставленной задачи позволит отказаться от ряда вспомогательных механизмов.

Сейчас уже вполне определенно можно говорить о возможности создания принципиально новых рабочих органов и схем экскавационных машин, работающих по принципу ударного разрушения.

Большой интерес может представить использование упомянутого принципа при конструировании угольных стругов и комбайнов, работающих крупным сколом.

Наконец, можно предполагать, что оснащение режущей кромки тракторных скреперов инструментами ударного действия позволит широко применить скреперы при разработке мерзлых грунтов, а также в угольных разрезах.

Западно-Сибирский
филиал Академии наук СССР

Поступила в редакцию
19/VI 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. М. М. Протодьяконов, Коэффициент крепости горных пород проф. М. М. Протодьяконова. В кн. «Вопросы разрушения и давления горных пород», Углетехиздат, 1955.
2. Л. И. Барон, Временное сопротивление раздавливанию и коэффициент крепости скальных горных пород. В кн. «Вопросы разрушения и давления горных пород», Углетехиздат, 1955.
3. А. И. Федулов, П. А. Михирев, Исследование разрушения мерзлого грунта инструментом ударного действия. Тр. ГГИ ЗСФАН, вып. 16, 1956.
4. А. И. Федулов, К вопросу о выборе способа разработки мерзлых грунтов. Тр. ГГИ ЗСФАН СССР, вып. 16, 1956.
5. В. И. Геронтьев, Я. Б. Кальницкий, В. С. Берсенев, Некоторые итоги исследований разрушения углей в массиве ударной нагрузкой. В кн. «Вопросы разрушения и давления горных пород», Углетехиздат, 1955.
6. С. С. Музгин, Исследование процесса скола мерзлых грунтов рабочим органом ударного действия. Автореферат дисс. ИГД АН СССР, 1953.

Ф. Э. АРЗ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ИСКУССТВЕННОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ ГРУНТОВ

Определение радиуса ледогрунтовых цилиндров до их смыкания

Радиус ледогрунтовых цилиндров до их смыкания может быть определен по результатам измерения температур в термических скважинах с помощью теории температурных полей.

Термические скважины обычно располагаются так, как показано на рис. 1. При таком их расположении для решения рассматриваемой задачи можно измерять температуру только в талой зоне грунта.

Закон распределения температуры в талой зоне вокруг одиночного ледогрунтового цилиндра при нестационарном режиме получен Х. С. Карслоу и Д. К. Эгер [1]. Однако выведенное ими уравнение неудобно для практического применения, так как не решается относительно радиуса ледогрунтового цилиндра, а нахождение его подбором слишком трудоемко.

Других, более удовлетворительных решений для ледогрунтового цилиндра, насколько нам известно, до сих пор не предложено. Представляется целесообразным использовать в данном случае метод решения тепловых задач, разработанный Х. Р. Хакимовым [2, 3] и базирующийся на следующих основных положениях:

а) радиус истока тепла к замораживающей колонке связан с радиусом промерзания прямой пропорциональной зависимостью;

б) нестационарные тепловые процессы рассматриваются как последовательная смена стационарных состояний.

Первое положение обосновано Х. Р. Хакимовым [2] с помощью многочисленных натуральных наблюдений, второе успешно применялось многими исследователями для решения различных тепловых и гидромеханических задач.

Используем известное выражение для температуры талого грунта, расположенного вокруг ледогрунтового цилиндра [3], которое получено путем интегрирования дифференциального уравнения Лапласа и, следовательно, исходит из того, что атмосферное давление не изменяется во времени, что талый грунт изотропен, а его коэффициент теплопроводности, теплоемкость и объемный вес постоянны:

$$t = t_e - \frac{t_e}{\ln R} \ln \frac{r}{R} \quad (1)$$

$$\xi < r < R,$$

где t_e — естественная температура грунта,
 R — радиус истока тепла к замораживающей колонке,
 ξ — радиус ледогрунтового цилиндра,
 r — расстояние точки с температурой t от замораживающей колонки.

Обозначим температуру в термической скважине через t_r , а расстояние от термической скважины до замораживающей колонки через b . Тогда уравнение (1), решенное относительно ξ , переписывается в виде

$$\xi = \frac{b}{\frac{t_r}{t_e} a}; \quad \xi < b < R, \quad (2)$$

где a — отношение радиуса истока тепла к замораживающей колонке к радиусу ледогрунтового цилиндра, равное const.

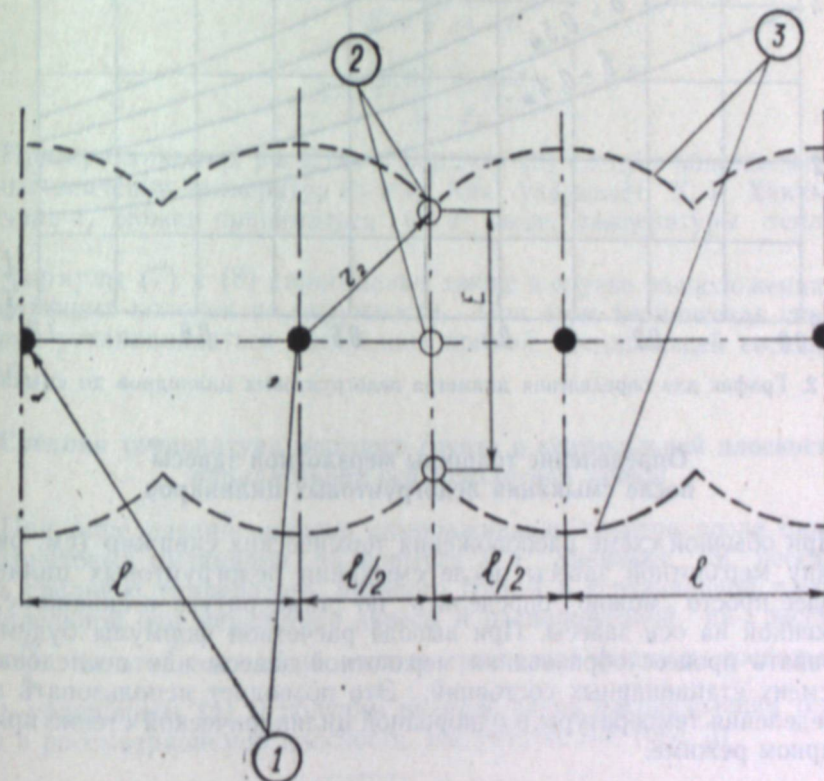


Рис. 1. Обычная схема расположения термических скважин.

1 — замораживающие колонки, 2 — термические скважины, 3 — проектная граница мерзлотной завесы.

По данным Х. Р. Хакимова [3], величина a для случая термической скважины, расположенной посередине между соседними замораживающими колонками, может приниматься равной 3,0.

При этом

$$\xi = \frac{b}{\frac{t_r}{t_e} 3,0}; \quad \xi < b < R. \quad (3)$$

На рис. 2 зависимость (3) изображена в виде графиков для различных значений b . Рис. 2 позволяет весьма просто определять радиус ледогрунтовых цилиндров в процессе замораживания до их смыкания.

Формула (2) справедлива и в случае расположения замораживающих колонок по окружности.

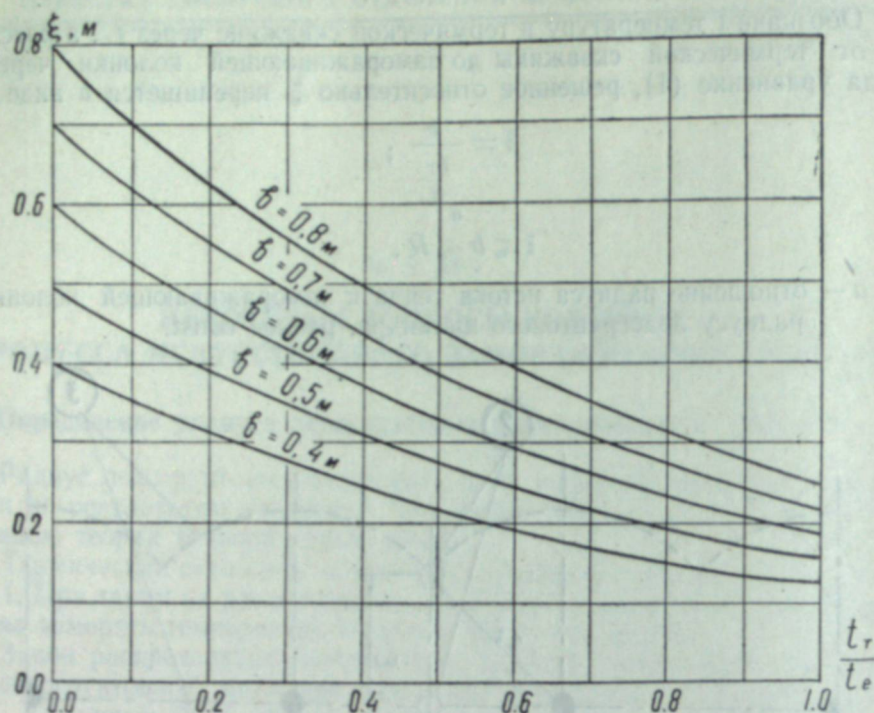


Рис. 2. График для определения диаметра ледогрунтовых цилиндров до смыкания.

Определение толщины мерзлотной завесы после смыкания ледогрунтовых цилиндров

При обычной схеме расположения термических скважин (см. рис. 1) толщину мерзлотной завесы после смыкания ледогрунтовых цилиндров наиболее просто можно определить по температуре в скважине, расположенной на оси завесы. При выводе расчетной формулы будем рассматривать процесс образования мерзлотной завесы как последовательную смену стационарных состояний. Это позволяет использовать закон распределения температуры в однородной цилиндрической стенке при стационарном режиме.

$$t = t_c \frac{\ln \frac{\xi}{r}}{\ln \frac{\xi}{r_0}} \quad (4)$$

где: t_c — температура грунта, прилегающего к стенке колонки, r_0 — внешний радиус замораживающей колонки.

При выводе формулы (4) предполагалось, что мерзлый грунт изотропен, его коэффициент теплопроводности постоянен, температура грунта изменяется только в радиальном направлении и постоянна во времени.

Указанным методом Н. Г. Трупа [4] подробно разработал теорию температурного поля в мерзлотной завесе и показал, что распределение температуры в натурных условиях близко к теоретическому.

При толщине мерзлотной завесы E и расстоянии между колонками l (см. рис. 1)

$$\xi = \frac{1}{2} \sqrt{E^2 + l^2} \quad (5)$$

Тогда температура в термической скважине, находящейся на оси мерзлотной завесы посередине между соседними колонками, запишется так:

$$t_r = t_c \frac{\ln \frac{\sqrt{E^2 + l^2}}{l}}{\ln \frac{\sqrt{E^2 + l^2}}{d_0}} \quad (6)$$

где d_0 — внешний диаметр замораживающей колонки. Решая уравнение (6) относительно E , получаем:

$$E = \sqrt{e^A - l^2}, \quad (7)$$

где

$$A = \frac{2(t_c \ln l - t_r \ln d_0)}{t_c - t_r} \quad (8)$$

При практических расчетах в формулу (8) следует подставлять абсолютные значения температур t_r и t_c . Как указывает Х. Р. Хакимов [2], величина t_c может приниматься на 2° выше температуры теплоносителя.

Формулы (7) и (8) справедливы также в случае расположения замораживающих колонок по окружности. При этом термическая скважина должна устанавливаться посередине прямой, соединяющей соседние колонки.

Средняя температура мерзлого грунта в вертикальной плоскости, параллельной оси мерзлотной завесы

При определении времени замораживания грунтов после смыкания ледогрунтовых цилиндров по формуле Х. Р. Хакимова [3] необходимо знать среднюю температуру мерзлого грунта в вертикальной плоскости, параллельной оси мерзлотной завесы и расположенной на расстоянии $\delta_0 = \frac{\pi l}{8}$ от этой оси. Для вывода расчетной формулы воспользуемся вновь уравнением (4) и получим вначале закон распределения температуры в рассматриваемой плоскости. На участке AB (рис. 3)

$$r = \sqrt{\delta^2 + x^2} \quad -\frac{l}{2} < x < +\frac{l}{2}$$

и

$$t = t_c \frac{\ln \frac{\xi}{\sqrt{\delta^2 + x^2}}}{\ln \frac{\xi}{r_0}} \quad (9)$$

$$-\frac{l}{2} < x < +\frac{l}{2}$$

где δ — расстояние от рассматриваемой плоскости до оси мерзлотной завесы,

x — расстояние точки с температурой t до плоскости, проходящей через ось замораживающей колонки и перпендикулярной к оси мерзлотной завесы.

Формула (9) действительна при $\frac{E}{2} > \delta$ (см. рис. 3).

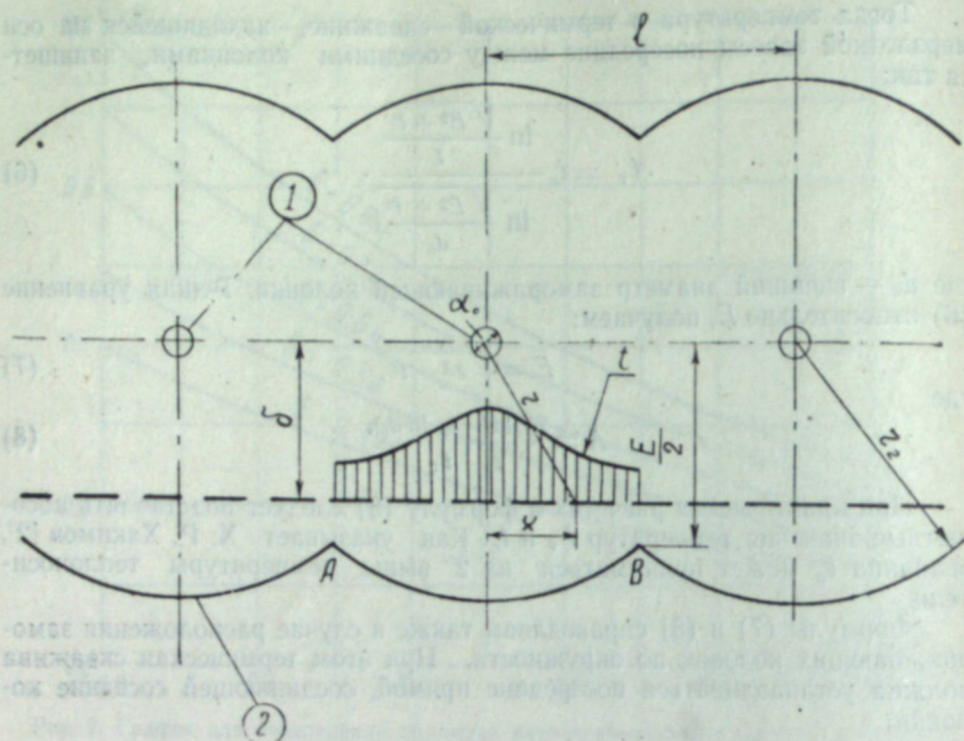


Рис. 3. Схема к выводу формулы (12).

1 — замораживающие колонки, 2 — границы ледогрунтовой стены.

Для получения формулы, определяющей искомую температуру, достаточно взять определенный интеграл функции, выраженной уравнением (9), по x в пределах от 0 до $\frac{l}{2}$ и результат разделить на $\frac{l}{2}$

$$t_{\text{ср}} = \frac{2}{l} \int_0^{\frac{l}{2}} t_c \frac{\ln \frac{\xi}{V \delta^2 + x^2}}{\ln \frac{\xi}{r_0}} dx. \quad (10)$$

Произведя интегрирование, получаем

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_c}{\ln \frac{\xi}{r_0}} \left[\ln \xi - \ln \left(\frac{1}{2} \sqrt{l^2 + 4\delta^2} \right) - \frac{2\delta}{l} \arctg \frac{l}{2\delta} + 1 \right] \quad (11)$$

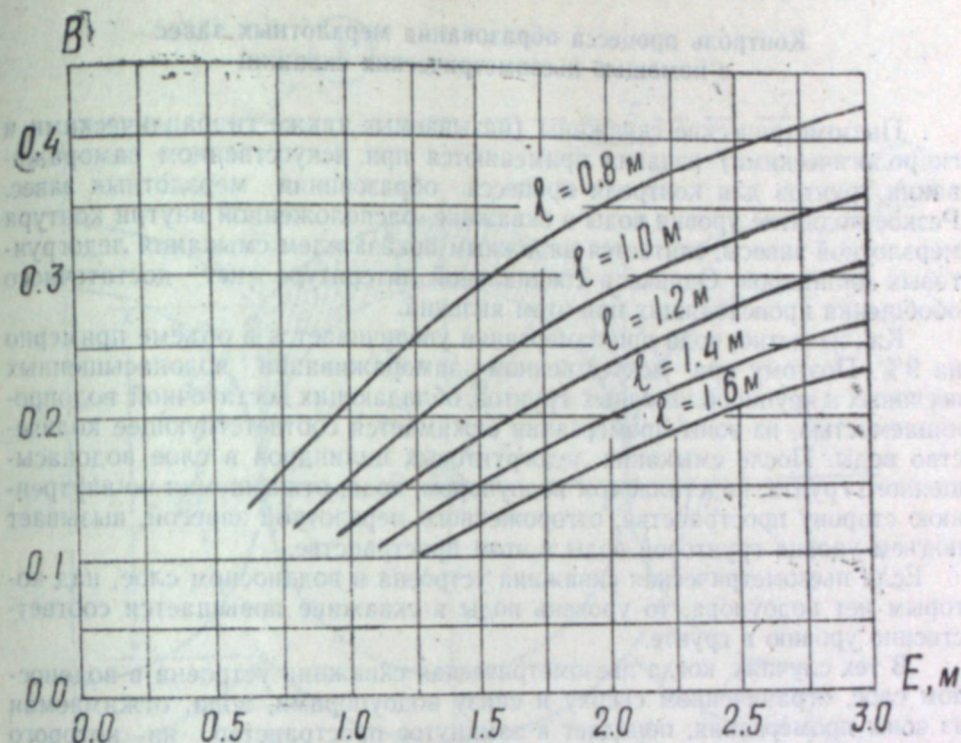
В нашем случае $\delta = \delta_0 = \frac{\pi l}{8}$, $\xi = \frac{1}{2} \sqrt{E^2 + l^2}$.

Подставив эти значения δ и ξ в (11), после элементарных преобразований, получаем расчетную формулу

$$t_{\text{ср}} = B \cdot t_c \quad (12)$$

где

$$B = \frac{\ln \left(\frac{E^2}{l^2} + 1 \right) + 0,0983}{\ln \frac{E^2 + l^2}{d_0^2}} \quad (13)$$

Рис. 4. График зависимости величины B от толщины мерзлотной завесы.

Для облегчения пользования формулой (12) на рис. 4 дан график значений коэффициента B для различных значений E и l при обычном диаметре замораживающих колонок $d_0 = 0,114$ м.

Необходимая точность измерения температуры

Вопрос о необходимой точности измерения температуры в термических скважинах не был разрешен до настоящего времени. В некоторых литературных источниках рекомендуется точность $\pm 0,2^\circ$ [5], но без каких-либо обоснований. На производстве измерения производятся с различной точностью от $\pm 0,1$ до $\pm 1,0^\circ$.

Нужную точность измерения температуры следует определять, исходя из необходимости обеспечить удовлетворительную точность решения практических задач в термических скважинах: определения моментов смыкания ледогрунтовых цилиндров, достижения мерзлотной завесой проектной толщины и т. д.

С помощью формул (1), (3), (4), (7) нетрудно подсчитать величины ошибок, возникающих при решении данных задач на основе результатов измерений температур в термических скважинах с различными погрешностями измерений и для различных условий замораживания. Анализ результатов таких расчетов показывает, что для обеспечения удовлетворительной точности контроля процесса образования мерзлотных завес с помощью измерения температур в термических скважинах следует измерять температуры с точностью $\pm 0,1^\circ$. Точность менее $\pm 0,2^\circ$ является недостаточной.

Контроль процесса образования мерзлотных завес с помощью пьезометрических скважин

Пьезометрические скважины (называемые также гидравлическими и гидрологическими) издавна применяются при искусственном замораживании грунтов для контроля процесса образования мерзлотных завес. Резкое поднятие уровня воды в скважине, расположенной внутри контура мерзлотной завесы, считается надежным показателем смыкания ледогрунтовых цилиндров. Однако в специальной литературе нет достаточного обобщения происходящих при этом явлений.

Как известно, вода при замерзании увеличивается в объеме примерно на 9%. Поэтому при искусственном замораживании водонасыщенных песчаных и крупнообломочных грунтов, обладающих достаточной водопроницаемостью, из зоны промерзания отжимается соответствующее количество воды. После смыкания ледогрунтовых цилиндров в слое водонасыщенного грунта, подстилаемом водоупором, вода, отжимаемая во внутреннюю сторону пространства, отгороженного мерзлотной завесой, вызывает подъем уровня грунтовой воды в этом пространстве.

Если пьезометрическая скважина устроена в водоносном слое, над которым нет водоупора, то уровень воды в скважине повышается соответственно уровню в грунте.

В тех случаях, когда пьезометрическая скважина устроена в водоносном слое, ограниченном сверху и снизу водоупорами, вода, отжимаемая из зоны промерзания, попадает в замкнутое пространство, из которого может найти выход только через пьезометрическую скважину. При этом возможно излияние воды из скважины на поверхность.

Представляет интерес вывод расчетной формулы, с помощью которой можно было бы определить заранее величину подъема уровня воды в пьезометрической скважине.

Рассмотрим случай водоносного слоя, над которым нет водоупора.

Объем воды, отжимаемой из зоны промерзания в пространство, отгороженное мерзлотной завесой, равен:

$$V_s = 0,09 \Delta V_m n, \quad (19)$$

где ΔV_m — прирост объема мерзлого грунта внутри мерзлотной завесы после смыкания ледогрунтовых цилиндров,
 n — пористость водонасыщенного грунта,
 0,09 — увеличение объема воды при промерзании.

С другой стороны,

$$V_s = F_k \Delta h n, \quad (20)$$

где: F_k — площадь, ограниченная мерзлотной завесой,
 Δh — величина подъема уровня грунтовой воды внутри мерзлотной завесы (или в пьезометрической скважине) после смыкания ледогрунтовых цилиндров.

Приравняв правые части уравнений (19) и (20) и решая полученное уравнение относительно Δh , имеем:

$$\Delta h = 0,09 \frac{\Delta V_m}{F_k}. \quad (21)$$

Величина ΔV_m равна (рис. 5)

$$\Delta V_m = \left[\frac{1}{2} \pi (\xi_2^2 - \xi_1^2) - F_c \right] h N, \quad (22)$$

где: ξ_1 — радиус ледогрунтовых цилиндров в момент смыкания,

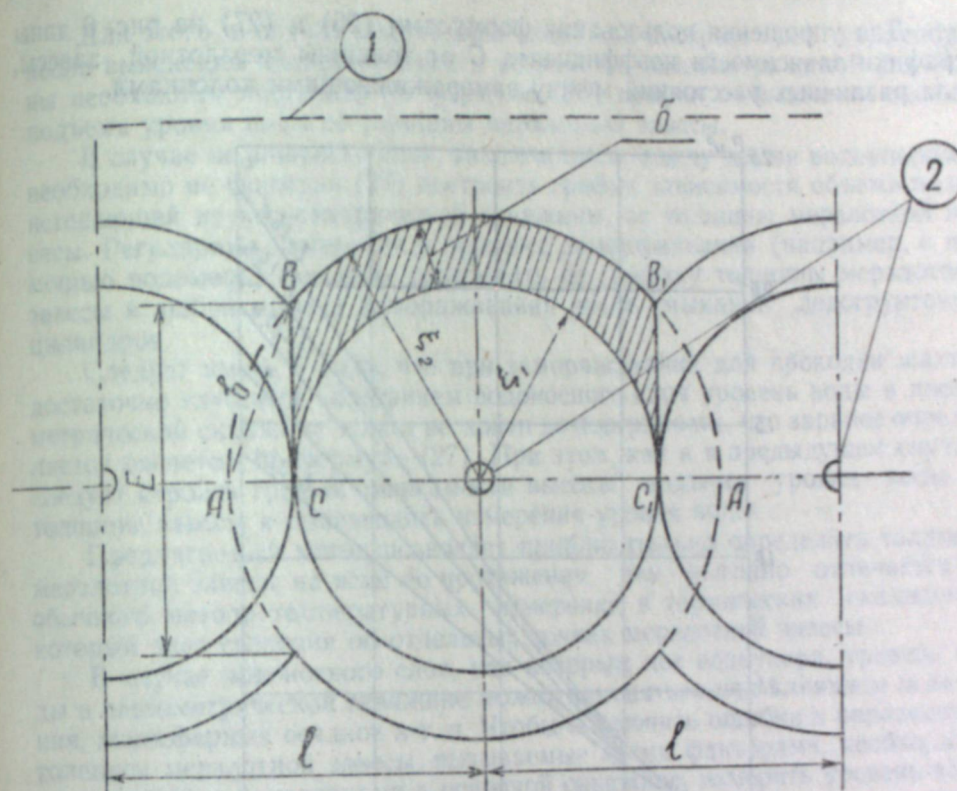


Рис. 5. Схема к выводу формулы (26).
 1 — проектная граница котлована, 2 — замораживающие колонки.

ξ_2 — радиус ледогрунтовых цилиндров в момент определения уровня воды в пьезометрической скважине,
 F_c — площадь двух полусегментов ABC и $A_1B_1C_1$,
 h — толщина слоя водоносного грунта,
 N — число замораживающих колонок (при их однорядном расположении).

Используем приближенную формулу площади сегмента

$$F_c = \frac{b}{15} (6E + 8b). \quad (23)$$

Подставив (23) в (22) и произведя некоторые элементарные преобразования, получаем

$$\Delta V_m = CNh, \quad (24)$$

где

$$C = 0,393 E^2 - \frac{1}{15} \left(\sqrt{E^2 + l^2} - l \right) \left(3E + 2,828 \sqrt{(E^2 + l^2) - l \sqrt{E^2 + l^2}} \right) \quad (25)$$

Подставив (24) в (21), получаем искомую формулу

$$\Delta h = 0,09 \frac{Nh}{F_k} C. \quad (26)$$

Нетрудно показать, что для случая водоносного слоя, заключенного между двумя водоупорами, формула (26) будет иметь вид:

$$\Delta h = 0,09 \frac{Nhn}{F_{nc}}, \quad (27)$$

где: F_{nc} — площадь поперечного сечения пьезометрической скважины.

Для упрощения пользования формулами (26) и (27) на рис. 6 даны графики зависимости коэффициента C от толщины мерзлотной завесы, для различных расстояний между замораживающими колонками.

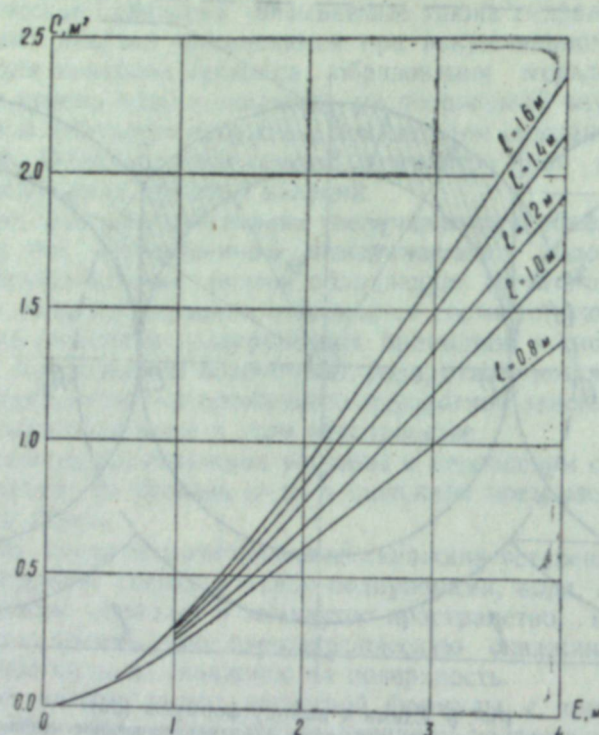


Рис. 6. График зависимости величины C от толщины мерзлотной завесы.

Формулы (26) и (27) показывают, что величина подъема уровня воды в пьезометрической скважине, расположенной внутри контура мерзлотной завесы, тем больше, чем толще водоносный слой и чем меньше площадь, ограждаемая мерзлотной завесой (26), или площадь поперечного сечения пьезометрической скважины (27).

С помощью несложных расчетов по формулам (26) и (27) для различных условий замораживания нетрудно показать, что:

а) в пьезометрической скважине, расположенной в водоносном слое, над которым нет водоупора, величина подъема уровня воды после смыкания ледогрунтовых цилиндров незначительна. Поэтому в случае обычных строительных котлованов глубиной до 20 м и больших размеров в плане (50 × 50 м и более) устройство пьезометрической скважины для определения момента смыкания ледогрунтовых цилиндров заведомо нецелесообразно. Величина подъема уровня воды, достаточная для практического использования, может иметь место при проходке шахт и котлованов весьма малых размеров в плане при толщине водоносного слоя 20 м и более, т. е. в отдельных, весьма редких случаях;

б) устройство пьезометрической скважины в водоносном слое, заключенном между двумя водоупорами, целесообразно во всех случаях замораживания грунтов и не требует предварительной расчетной проверки.

Как указывалось выше, до настоящего времени пьезометрические скважины применялись для определения момента смыкания ледогрунтовых цилиндров. Выведенные нами формулы (26) и (27) позволяют использовать пьезометрические скважины также для определения толщины мерзлотной завесы в процессе замораживания.

Для этого, в случае водоносного слоя, над которым нет водоупора, после выяснения целесообразности устройства пьезометрической скважины необходимо построить по формуле (26) график зависимости высоты подъема уровня воды от толщины мерзлотной завесы.

В случае водоносного слоя, заключенного между двумя водоупорами, необходимо по формуле (27) построить график зависимости объема воды, истекающей из пьезометрической скважины, от толщины мерзлотной завесы. Регулярные измерения в процессе замораживания (например, с помощью водомера) позволят определять по графику толщины мерзлотной завесы в любой момент замораживания после смыкания ледогрунтовых цилиндров.

Следует иметь в виду, что при замораживании для проходки шахт с достаточно глубоким залеганием водоносного слоя уровень воды в пьезометрической скважине может не дойти до поверхности, что заранее определяется расчетом по формуле (27). При этом, как и в предыдущем случае, следует строить график зависимости высоты подъема уровня воды от толщины завесы и производить измерения уровня воды.

Предлагаемый метод позволяет приблизительно определять толщину мерзлотной завесы на всем ее протяжении, чем выгодно отличается от обычного метода температурных измерений в термических скважинах, который дает сведения об отдельных точках мерзлотной завесы.

В случае водоносного слоя, над которым нет водоупора, уровень воды в пьезометрической скважине может изменяться под влиянием испарения, атмосферных осадков и т. п. Чтобы исключить ошибки в определении толщины мерзлотной завесы, вызываемые этими факторами, необходимо, параллельно с измерениями в основной скважине, измерять уровень воды в скважине, устроенной вне контура мерзлотной завесы, что даст возможность вводить соответствующие поправки.

При замораживании температура грунтовой воды внутри контура мерзлотной завесы понижается, что вызывает уменьшение объема воды и, следовательно, понижение ее уровня в пьезометрической скважине. Однако расчеты показывают, что это понижение настолько мало, что не будет оказывать существенного влияния на точность определения толщины мерзлотной завесы.

На основании изложенного можно полагать, что предлагаемый метод определения толщины мерзлотной завесы в водоносных песчаных и крупнообломочных грунтах может найти практическое применение наряду с другими методами контроля процесса образования мерзлотных завес.

Северо-восточное отделение
института мерзлотоведения АН СССР

Поступила в редакцию
24/X 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. H. S. Carslaw, J. C. Jaeger, Conduction of Heat in Solids. Oxford at the Clarendon Press, 1947.
2. Х. Р. Хакимов, Вопросы теории и практики искусственного замораживания грунтов. Изд. АН СССР, М., 1957.
3. Х. Р. Хакимов, К вопросу о тепловых расчетах промерзания или оттаивания грунтов. НИИ оснований и фундаментов, Сб. трудов, № 19, Госстройиздат, М., 1952.
4. Н. Г. Трупаков, Замораживание горных пород при проходке стволов. Углетехиздат, М., 1954.
5. Х. Р. Хакимов, Инструкция по проектированию и производству работ по замораживанию грунтов для строительных целей (проект). НИИ-100 Мин-ва строительства СССР, М., 1955.
6. В. П. Преображенский, Теплотехнические измерения и приборы. Госэнергоиздат, М.—Л., 1953.

В. М. САМОЧКИН

ОБ УЧЕТЕ ЗАТРУДНЕНИЙ ОТ ВНУТРИВОДНОГО ЛЬДА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА РАВНИННЫХ РЕКАХ

Практика эксплуатации гидроэлектростанций в бассейне верхней Волги показывает, что в осенний период могут наблюдаться серьезные затруднения в их работе от внутриводного льда.

В ноябре 1950 г. забило внутриводным льдом решетки Ивановской и Щербаковской ГЭС [1]. Осенью 1952 г. ледовые затруднения на Щербаковской ГЭС повторились [2]. Внутриводным льдом забило сорудержательные решетки во всех водоводах турбин, лопасти направляющих аппаратов и фильтры насосов технического водоснабжения. Эти осложнения не ожидалось, а поэтому не было предпринято мер для их предупреждения.

В литературе вопросы эксплуатации ГЭС в условиях ледового режима равнинных рек освещены недостаточно. В частности, нет указаний о том, при каких условиях возможны затруднения на ГЭС от внутриводного льда.

В связи с широким размахом гидроэнергетического строительства на равнинных реках нашей страны представляется целесообразным учитывать возможные затруднения от внутриводного льда на ГЭС еще при их проектировании. Для этого нужно заранее предвидеть характер льдообразования в подпертых бьефах и, в частности, глубину, на которой возможно образование льда.

Исследования, проведенные в Транспортно-энергетическом институте Западно-Сибирского филиала АН СССР, показывают, что образование и отложение внутриводного льда на глубокорасположенных сооружениях подпертых бьефов ГЭС происходят в результате проникновения переохлажденной воды на большую глубину. Причиной этого является волновое перемешивание воды на водохранилищах.

Известно, что при движении прогрессивных волн по поверхности водоема с конечной глубиной частицы жидкости описывают некоторые эллиптические траектории [3]. Вертикальная составляющая орбитальной скорости частиц непосредственно всей своей величиной участвует в обмене масс жидкости по глубине. При направлении этой скорости сверху вниз создаются нисходящие токи, и более охлажденные массы жидкости верхних слоев в осенний период переносятся в нижние. При направлении же скоростей снизу вверх создаются восходящие токи, и массы жидкости переносятся из нижних слоев, более теплых, в верхние, более охлажденные. При этом величина орбитальной скорости и глубина перемешивания зависят от высоты волны на водохранилище и глубины водоема.

Приведенные на рис. 1 эпюры вертикальной составляющей орбитальной скорости частицы воды, которые были получены по известным формулам волновой гидравлики в зависимости от высоты волны и при

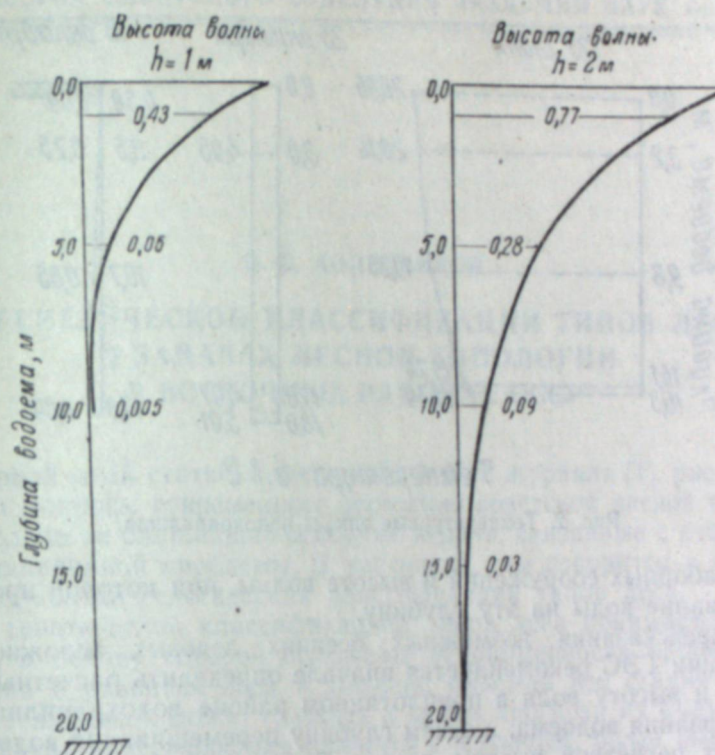


Рис. 1. Эпюры вертикальной составляющей орбитальной скорости в м/сек, в зависимости от высоты волны.

глубине водоема 20 м, показывают, что при высоте волны 1 м вертикальная составляющая скорости затухает на глубине примерно 10 м, а при высоте волны 2 м вертикальным перемешиванием охватывается вся толща воды взятого в качестве примера водоема. В последнем случае температура воды будет стремиться к выравниванию на всю глубину.

В осенний период обычно наблюдаются большие скорости ветра, а следовательно, происходит и наиболее сильное волновое перемешивание воды. Поэтому в этот период при остывании неглубоких водохранилищ температура воды снижается почти равномерно по всей глубине потока, приближаясь к нулю. В качестве иллюстрации осенней гомотермии на рис. 2 приводятся температурные эпюры, заснятые Гидропроект [4] на одном из водохранилищ.

При возникновении волнения температуры воды выравниваются по глубине в короткие сроки. Так, проведенные Рыбинской обсерваторией в сентябре 1952 г. термические наблюдения на водохранилище [2] показали, что при скорости ветра 4 м/сек еще сохраняется прямая стратификация. При усилении ветра от 4 до 8 м/сек за 3 часа происходит выравнивание температуры по вертикали на глубину 10—12 м. Если в период замерзания водохранилища (когда температура воздуха отрицательна, а воды — близка к нулю) наблюдаются сильные ветры, которые могут вызвать волнение, необходимое для перемешивания воды на глубину заложения водозаборных сооружений, то в ближайшее время следует ожидать переохлаждения воды на эту глубину и ледовых осложнений в эксплуатации ГЭС.

Приведенные выше данные о формировании температур по глубине водоемов позволяют наметить методику предсказания ледовых осложнений по известной из проекта гидроэлектростанции глубине расположе-

пример, В. Н. Сукачев [3 и др.] считает, что по отношению к типам леса, как и к любым другим классификационным подразделениям растительности (а также к почвам, минералам и иным природным объектам), термин «генезис» следует применять не в смысле родства по происхождению, а только в смысле сходства путей происхождения их и путей формирования структурных особенностей леса. Под последними же понимаются такие особенности, как строение древостоя (чистые, смешанные), ярусность, синузильность, экологический облик, характер межвидовых и внутривидовых взаимоотношений между компонентами, система взаимосвязей между растительностью и средой.

Кроме того, когда в лесной типологии употребляют термин «генезис», то чаще всего имеют в виду происхождение современных лесов от лесов далекого геологического прошлого, рассматривая этот вопрос в масштабах эволюции ландшафта и растительного покрова, нередко к тому же связывая его с процессами видообразования. Как известно, этими проблемами специально и успешно занимается историческая география растений; большое внимание им уделяет геоботаника (фитоценология). В частности, геоботаниками сделано немало для выяснения закономерностей так называемого «филоценогенеза» [4, 5] лесной растительности Советского Союза, притом именно в связи с разработкой классификационной проблемы [6, 7 и др.]. Однако, несмотря на теоретическую ценность таких исследований, для лесного хозяйства и лесной типологии они представляют отдаленный интерес, поскольку их результаты имеют отвлеченный, слишком общий характер и относятся к промежуткам времени, выходящим за пределы масштаба, которым оперирует лесохозяйственное производство.

Лесоводство в первую очередь интересуют генетические или лесообразовательные процессы, происходящие на конкретных участках территории и в течение полутора-двух, максимум трех столетий, т. е. охватывающие период жизни одного-двух поколений главных лесообразующих пород. Именно по отношению к процессам такого порядка, входящим в круг понятий о различных родах смен пород по Г. Ф. Морозову [8, 9], и разрабатывал основы генетической классификации лесов Б. А. Ивашкевич. Чтобы противопоставить подход его и других лесоводов к разработке вопросов генезиса лесов «филоценогенетическому» подходу большинства ботанико-географов и геоботаников (фитоценологов), он может быть назван «онтогенетическим», подобно тому как в биологии организмов различают отдельно их «филогенез» и «онтогенез». Соответственно генетические классификации типов леса подобного рода могут быть названы «онтогенетическими».

При такой трактовке содержания понятия «генезис» в приложении к лесам упомянутая оговорка В. Н. Сукачева теряет значение. В пределах одного-двух поколений главной древесной породы возможно вполне уверенно говорить не только о сходстве путей происхождения и структурного образования, но и о прямом историческом родстве типов леса и нелесных группировок, которые сменялись и могут в дальнейшем смениться на конкретных участках земной территории, относящихся к одному типу лесорастительных условий. «Прямое родство» таких последовательно сменяющихся группировок мыслится в виде наследования новым типом леса (или нелесной группировкой, если лес сменяется «не лесом») не только части компонентов из состава предшествующего типа, но и ряда лесоводственных особенностей последнего (в том числе структурных), закрепляемых особенностями его типа лесорастительных условий. Общеизвестно, что условия среды более устойчивы и изменяются медленнее, чем видовой состав и структура древостоя и растительности

нижних ярусов леса. В связи с этим преемственность и историческое родство у генетически связанных между собой типов леса могут быть познаны не только через то или иное сходство в составе и структуре их древостоев и остальных элементов растительности, что имеют в виду В. Н. Сукачев и геоботаники (фитоценологи), но кроме того и прежде всего, через сходство в присущих им лесорастительных условиях.

2. Из новых понятий, которыми необходимо пополнить лесную типологию и лесоведение, в первую очередь следует назвать понятие лесообразовательного процесса как совокупности всех явлений возникновения, развития, разрушения и смены лесных насаждений, сопровождающих эволюцию лесного покрова земного шара. Понятие лесообразовательного процесса в лесоведении аналогично понятию почвообразовательного процесса в почвоведении, ландшафтообразовательного — в физической географии, рельефообразующего — в геоморфологии, и т. д. Подобно им, лесообразовательный процесс имеет стадийный характер и складывается из циклично-спирального чередования взаимосвязанных, но качественно различных по лесорастительному эффекту стадий, циклов, этапов, фаз, периодов и эпох, как разного ранга последовательных звеньев формирования и эволюции лесного покрова.

Понятие лесообразовательного процесса имеет общий характер и может прилагаться как к лесной территории земного шара в целом, так и к отдельной его зоне, природной области, району и, наконец, даже к конкретному ограниченному участку поверхности в зависимости от масштаба и детальности проводимых исследований и их целевого назначения. И по масштабу времени оно может относиться и к явлениям эволюции лесов от геологического прошлого до наших дней, и к явлениям их современного развития, оцениваемого десятилетиями.

Такая широкая и общая трактовка понятия лесообразовательного процесса позволит лесной типологии изучить под одним углом зрения весь широкий круг явлений, связанных с динамикой и эволюцией лесов, включая и явления упоминавшегося «филоценогенеза», как его понимают В. Н. Сукачев и геоботаники*. Но главное внимание, по указанным выше причинам, должно быть сосредоточено на изучении закономерностей «онтогенетических» процессов, т. е. явлений динамики леса, совершающихся в течение современной эпохи лесообразовательного процесса (несколько ближайших к нам столетий), и на разработке в связи с ними «онтогенетических» классификаций типов леса. В дальнейшем изложении имеются в виду именно только эти процессы и классификации.

Представление о лесообразовательном процессе в зародыше имеет-ся в учении о лесе Г. Ф. Морозова [8, 9], в его высказываниях о среде и биологических свойствах древесных пород как основных лесообразующих факторах. Помимо меня, термин «лесообразовательный процесс» недавно употребил также В. Г. Нестеров [11], но без выяснения его содержания и вне связи с классификационной проблемой.

3. Ведущим лесообразовательным фактором, вслед за Г. Ф. Морозовым, следует признать среду леса, поскольку лесообразовательный процесс в его элементарной форме протекает в границах определенного участка территории, свойства и положение которого в системе окружающего географического ландшафта определяют направление развития присущей ему растительности и отражают характер прошлых эта-

* Следует заметить, что понятие «филоценогенез» и родственные ему по содержанию «биогеоценогенез» [10] разработаны недостаточно и нуждаются в тщательном критическом обсуждении.

пов развития (через форму рельефа, почву, почвообразующую породу). Наиболее важные признаки и свойства среды участка территории в первую очередь надлежит учитывать при типологической оценке лесных насаждений и вводить в диагноз основных единиц генетической классификации типов леса.

4. С другой стороны, без древостоя нет леса, так как только наличие полога древесных растений, в том числе в виде их благонадежных зачатков (возобновление на вырубках и гарях, несомкнувшиеся лесные культуры), которые могут в ближайшей потенции создать полог, придает лесу качественную специфику и отличает его от других типов растительности (луг, болото, степь, тундра). Следовательно, вторая группа признаков, первоочередно используемых при классификации насаждений и диагностике ее основных единиц, должна быть связана со свойствами древостоя.

5. Оба лесообразовательных фактора (среда и древостой) по своему содержанию являются комплексными; в их составе имеются как ведущие, так и подчиненные компоненты (факторы второго порядка и сопутствующие породы), роль и значение которых в лесообразовательном процессе изменяются во времени. Чтобы избежать порочных кольцевых зависимостей, неизбежных, когда в анализ вовлекается большое количество взаимосвязанных показателей, лесотипологическую классификацию и диагностику ее основных единиц надлежит основывать на признаках ведущих (диктующих) компонентов обоих основных факторов, наиболее явно определяющих роль и значение остальных в течение длительного промежутка времени. Такими признаками являются: форма рельефа участка поверхности, охарактеризованная генетико-геоморфологическими показателями, как предопределяющая режимы гидрологический, почвенный, световой, радиационный, климатический и другие*, и главная лесообразующая древесная порода, определяющая своими биологическими свойствами характер и результат межвидовых отношений с остальными породами, ей сопутствующими, и подчиненной растительностью нижних ярусов.

6. Лесообразовательный процесс в его элементарной форме проявляется в виде различного рода смен древесных пород (смена насаждений), совершающихся под влиянием различных причин и имеющих различную продолжительность. Для современной эпохи наиболее важны следующие виды смен:

* Форма рельефа, а не почва или «почвенно-грунтовые условия», как принято в настоящее время в лесной типологии, указана в числе ведущих классификационных и диагностических признаков по следующим соображениям:

а) форма рельефа служит хорошим и во многих случаях наиболее объективным показателем происхождения и недавнего прошлого участка местности, а следовательно, и покрывающей его растительности, поскольку оно (прошлое) устойчиво и прочно фиксируется в геоморфологических показателях участка местности;

б) являясь линией раздела атмосферы и литосферы, рельеф преобразует свойства этих элементов среды местопроизрастания, предопределенные географическим положением и геологической структурой местности. Он же наиболее явно влияет на факторы гидросферы, во многом определяя особенности поведения поверхностных и подземных вод, а через материнскую породу — на запас минеральных питательных веществ в недоступном слое почвы;

в) характер почвы в большей степени зависит от особенностей комплекса факторов среды, чем форма рельефа, и, кроме того, от самой растительности, в частности, от состава древостоя;

г) форма рельефа дает исследователю больше возможностей для синтетической и количественной оценки условий среды местопроизрастания, чем почва, особенно в условиях всхолмленного и горного рельефа и при использовании материалов аэрофотосъемки, все в возрастающих размерах привлекаемой для обслуживания разнообразных нужд лесного хозяйства.

а) **возрастные**, связанные с изменениями состава и структуры древостоя в течение полного возрастного цикла одного поколения главной лесообразующей древесной породы, от момента его зарождения до отмирания (распада);

б) **восстановительные**, вызванные воздействием на лес сильных разрушительных агентов (пожары, рубки, пастьба скота, эпизоотии вредных насекомых, наводнения и ливни, ураганные ветры и т. п.). Продолжительность лесовосстановительного периода и его результативность в этих случаях бывают различными, что позволяет выделять смены: кратковременные, или коротковосстановительные (завершаются в течение жизни одного поколения восстанавливающейся материнской породы), длительные (растягиваются на период жизни более чем одного поколения восстанавливающейся породы) и устойчивые (восстановление материнской породы естественным путем не происходит в течение жизни ее двух-трех поколений);

в) **аллювиальные** — это очень динамичные и относительно кратковременные (иногда всего несколько десятилетий) смены лесообразующих древесных пород в насаждениях на речных, озерных и морских аллювиях, связанные с перемещением надземных и подземных водных потоков и масс в пределах активной части поймы или прибрежной полосы;

г) **вековые**, происходящие в связи с эволюцией географического ландшафта окружающей участок территории (тектонические процессы, изменения в гидрологии местности в связи с изменением базиса эрозии гидрографической сети, деградация вечной мерзлоты, карстовые явления, преобразование ландшафта под влиянием деятельности человека и т. п.), а также в связи с периодическими изменениями в природе (циклические смены засушливых и влажных климатических периодов с длительным периодом колебаний).

7. Наибольший практический интерес представляют смены, совершающиеся в течение жизни одного поколения преобладающей в древостое лесообразующей породы, поскольку в этот период происходит формирование всех «полезностей леса», имеющих ценность для человеческого общества (запас древесной массы, природоохранительные и климатообразующие свойства, охотничье промысловое значение и т. п.). Они же наиболее легко поддаются регулированию и целенаправленному изменению при помощи разных лесоводственных мероприятий, проводимых на их различных стадиях (рубки главного пользования, меры содействия возобновлению, лесные культуры, рубки ухода, совершающиеся в мелиорации). Кроме того, анализ особенностей смен (возрастных и коротковосстановительных), открывает возможности обнаруживать достоверные следы недавнего исторического прошлого леса и усмотреть тенденции и направление его ближайшего развития.

Поэтому объем основной единицы лесной типологии в системе генетической классификации целесообразно ограничивать не в пространстве, как это обычно рекомендуется [12], а во времени и оценивать показателями, устойчивыми и относительно постоянными минимум в течение полного цикла развития одного поколения лесообразующей древесной породы (от зарождения до отмирания). При таком подходе в состав одного типа леса естественно должны включаться насаждения всех стадий одного цикла возрастных, или коротковосстановительных, или стадий аллювиальных смен, совершающихся в пределах участков территории, сходных по положению и свойствам. Комплекс условий среды, характерный для таких участков и порождающий определенный лес-

растительный эффект в течение жизни одного поколения лесообразующей породы, будет служить характеристикой условий местопроизрастания типа леса, т. е. его типа условий местопроизрастания.

8. В отличие от названных видов смен, смены длительновосстановительные, устойчивые и особенно вековые, охватывающие период жизни многих поколений лесообразующих пород, слагаются из чередования нескольких типов леса, а в ряде случаев также группировок других типов растительности, последовательно сменяющих друг друга во времени. Их совокупность может быть представлена в виде генетического ряда (серии) типов леса (растительных группировок). Комплекс природных условий, соответствующих одному такому генетическому ряду, может служить мерилем объема другой основной единицы лесной типологии — типа лесорастительных условий.

Представление о генетических рядах является развитием соображений В. Н. Сукачева [13] об «онтогенетическом ряде сообществ», последовательно сменяющих друг друга на определенном местообитании, и Б. А. Ивашкевича [14] о «рядах лесных сочетаний», развивающихся одно из другого «в данных условиях местопроизрастания». Аналогичные соображения высказывались также лесотипологами украинской школы [15, 16].

9. Из сказанного о лесообразовательном процессе и формах его проявления вытекает, что тип леса имеет вполне определенную продолжительность существования во времени. Он возникает, развивается и исчезает, сменяет какой-то предшествующий тип леса и в свою очередь сменится другим, характерным для следующего этапа лесообразовательного процесса.

Принадлежность типа леса к определенному этапу лесообразовательного процесса является его важнейшим и основным свойством; с учетом этого надлежит оценивать все остальные признаки и показатели типа леса.

Вместе с тем тип леса, слагаясь из насаждений, принадлежащих к различным стадиям возрастных, коротковосстановительных или аллювиальных смен, объединенных единством типа условий местопроизрастания, не остается абсолютно постоянным по своим внешним морфолого-физиономическим признакам в течение периода своего существования. Для типа леса характерна многоформность внешнего облика, сочетающаяся с устойчивостью свойственных ему основных показателей взаимодействия и взаимосвязей ведущих лесообразовательных факторов — среды и главной древесной породы на протяжении одного возрастного цикла развития последней.

10. Другим, не менее важным, свойством типа леса является наличие у него вполне определенного ареала географического распространения, лишь в пределах которого сохраняет силу указанная устойчивость характерных для него основных показателей взаимодействия и взаимосвязи между средой и главной породой. Это свойство типа леса вытекает из учения Г. Ф. Морозова о лесе как явлении географическом, в свою очередь представляющего пример распространения на лес действия общегеографического закона В. В. Докучаева о зональности всех явлений и процессов природы.

11. Наиболее объективным показателем взаимосвязи и взаимоотношений между ведущими лесообразовательными факторами леса — средой и древостоем — на протяжении жизни одного поколения главной древесной породы является ход роста древостоя, а результатом — объем

органического вещества (прежде всего древесины) продуцируемый лесом, его «урожай»; оба эти показателя могут быть выражены количественно. Пока тип леса не охарактеризован таблицами хода роста, как это сделано, например, для сосновых лесов Архангельской области [17, 18], этот третий диагностический показатель типа леса условно можно выражать через наименее зависимые от возраста таксационные показатели его древостоя или через объем органического вещества, накапливающегося на кульминационной стадии возрастного развития. Такими показателями могут служить таксационный бонитет, или запас стволовой древесины на стадии физической спелости древостоя.

12. Резюмируя сказанное о ведущих факторах и признаках типа леса, его следует определять (диагностировать) следующими обязательными показателями: формой рельефа, главной древесной породой и бонитетом, или запасом органического вещества к возрасту физической спелости последней. Для облегчения и корректировки правильности установления типа леса в природе на всех стадиях его развития целесообразно дополнительно использовать в качестве вспомогательных следующие признаки: древесную породу, сопутствующую главной на протяжении жизни ее одного поколения (например, осина, береза или липа в таежных сосняках и ельниках Урала), и экологический облик нижних ярусов леса, уточняющий особенности условий местопроизрастания.

Эти диагностические показатели типа леса должны найти отражение в его полном научном названии, тогда как условное краткое обозначение, предназначенное для употребления в обиходе, целесообразно конструировать с учетом удобства применения и традиций, сложившихся в районе, где будет использоваться классификация.

Полная характеристика типа леса в генетической классификации в идеале должна содержать данные о всех его основных стадиях возрастного развития и о направлении восстановительных и вековых смен.

13. Для правильной оценки возрастной и коротковосстановительной динамики типа леса и его положения в генетическом ряду вековых смен большое значение имеет тщательный анализ состояния естественного возобновления всех пород и таксационных показателей древостоя по всем стадиям развития типа.

Доступность и сравнительная простота количественных методов изучения возобновления и строения древостоя и возможность подвергнуть полученные данные математической обработке и интерпретации с применением специальных методов анализа позволяют использовать при характеристике типов леса и лесообразовательного процесса объективные показатели, выраженные мерой и числом. Накопление таких данных несомненно расширит перспективы разработки не только качественной картины развития леса, но и построения количественной теории лесообразовательного процесса, что ослабит досадный субъективизм лесотипологических построений, неизбежный при преимущественном использовании одностороннего сравнительно-описательного метода.

На влажность и перспективность внедрения в лесную типологию количественных методов характеристики типов леса указывалось давно [19, 20 и др.], но лишь в последние годы этот вопрос привлек внимание ряда исследователей, к сожалению, не столько самих лесотипологов, сколько специалистов в области лесной таксации [17, 18, 21, 22, 23 и др.]. Особый интерес представляют работы Г. Ф. Хильми [24, 25], впервые применившего к анализу закономерностей жизни леса математические методы теории размерности и принципы биогеофизики и сделавшего попытку построения общей теории динамики запаса и самоизреживания нормальных насаждений.

14. Для глубокого познания закономерностей лесообразовательного процесса и для полного использования возможностей лесной типологии в практике лесного хозяйства необходима иерархическая система классификационных единиц, отражающая последовательность развития лесообразовательного процесса от низших этапов и элементарных форм к высшим и его изменчивость в пространстве. При наличии такой системы лесное хозяйство сможет строить производственную деятельность не на субъективных по содержанию «хозяйственных типах леса», меняющих свой объем в зависимости от экономической конъюнктуры, а на объективно существующих и природно-обусловленных единицах расчленения лесного покрова, но разного классификационного ранга.

За основную единицу такой системы нами принят крупный по объему и комплексный по содержанию тип леса, рассматриваемый как законченный этап лесообразовательного процесса и равный по продолжительности, как минимум, периоду жизни одного поколения главной породы. Тип леса складывается из типов насаждений, соответствующих одной из возрастных или коротковосстановительных стадий развития типа леса, в течение которой у объединяемых участков леса сохраняется однородность во внешних морфологических признаках. Эта низшая и элементарная единица классификации по рангу равноценна «типу леса» совещания 1950 г. [26] и «типу лесного биогеоценоза» В. Н. Сукачева [26]. Из высших классификационных единиц основными являются еще лесная формация, объединяющая типы леса по признаку общности главной лесообразующей древесной породы [28], и тип лесорастительных условий, охватывающий типы леса и типы их местопроизрастания в пределах одного генетического ряда развития. В зависимости от особенностей лесоводственных свойств лесной формации, протяженности и характера ее географического ареала, целесообразно применение различных вспомогательных классификационных единиц, промежуточных между типом леса и формацией (группа типов леса, фация и т. п.), а также превышающих по объему последнюю (группа формаций, зональный комплекс лесных формаций и т. п.).

15. Лес — не только явление географическое и историческое, но одновременно часть природных ресурсов и хозяйственноценный объект, разносторонне используемый человеком с давних времен. При классификации типов леса необходимо тщательно учитывать следы прошлого преобразующего влияния на них человека, проверять полученные выводы на опыте производственного использования лесов и не упускать из виду возможную практическую сторону результатов исследования. Выделение и классификация типов леса необходимы лишь постольку, поскольку к ним может быть «привязан» специфический комплекс лесохозяйственных мероприятий, имеющий целью повышение продуктивности леса, или полученные при этом материалы будут пригодны для прогноза будущего состояния и перспектив использования лесных ресурсов. Поэтому составление генетической классификации типов леса следует дополнять установлением для каждого из них комплекса основных лесохозяйственных мероприятий; в идеале такой комплекс должен охватывать все стадии развития типа леса и обеспечивать наиболее рациональное использование всех его «полезностей» и повышение продуктивности, с учетом перспектив народнохозяйственного освоения лесных ресурсов в районе, где классификация будет применяться.

Для построения генетической классификации типов леса с исполь-

зованием перечисленных положений исследователь должен располагать обширным фактическим материалом и некоторыми предварительными обобщениями, характеризующими типы леса и условия их местопроизрастания в динамике, с учетом общего направления лесообразовательного процесса в районе, по которому составляется классификация. Такие материалы накапливаются лишь в течение продолжительного времени, в результате работ многих лесоводов и специалистов смежных отраслей знания, а первым этапом их сводного обобщения (синтеза) являются местные естественные классификации типов леса. Степень совершенства и детальность последних определяются общей изученностью лесных ресурсов района. Наличие естественной классификации является обязательной предпосылкой к составлению классификации генетической, так же как необходимо иметь сведения о возрастной структуре древостоев и основных закономерностях их хода роста, о ходе естественного возобновления, о различных разновидностях смен пород, хотя бы в виде гипотетических предположений, и об основных закономерностях географического распространения типов леса, синтезированных в форме лесорастительного районирования, включающего соседние с изучаемым районы.

Для слабо изученных лесов восточных частей СССР — Урала, Западной и Восточной Сибири, Якутии, Дальнего Востока — такие исходные материалы имеются в настоящее время по сравнительно немногим районам и не по всем лесным формациям, произрастающим на их территориях. Поэтому составление генетических классификаций типов леса может быть названо в качестве ближайшей задачи лесной типологии только для южной части Дальнего Востока (Приморье, Уссурийский край, правобережье Амура и Сахалин) по тем лесным формациям, которые еще не затронуты упоминавшимися предшествующими исследованиями (кедрово-широколиственные леса северной фации, пихтово-еловые леса северного Сихотэ-Алиня, елово-широколиственные, дубовые, долинные широколиственные леса и некоторые другие). Возможна постановка этой задачи и для основных и березовых лесов лесостепной зоны и сосново-березовой подзоны Западно-Сибирской низменности и Зауралья.

В процессе разработки генетических классификаций изложенные выше теоретические положения, вероятная дискуссионность части которых очевидна, будут уточняться, исправляться, совершенствоваться и дополняться, в том числе с учетом специфики новых объектов классификации.

Для лесов остальных, недостаточно изученных, частей восточных районов Союза ближайшими задачами лесной типологии могут быть (как они были и ранее) целеустремленное накопление фактических данных о строении, динамике и распространении типов леса и обобщение их в виде местных естественных классификаций по лесорастительным районам (или по их объединениям — лесорастительным провинциям, областям и т. д.). Предварительно потребуется составление схем районирования для лесов Урала, всей Восточной Сибири и Якутии и согласование их с имеющимися схемами по Западной Сибири и Дальнему Востоку, что, очевидно, следует проводить в плане разработки первоочередной для советского лесоведения проблемы — единого лесорастительного районирования всей территории Союза.

Важно, чтобы названные лесотипологические исследования на недостаточно изученных территориях Востока сразу проводились с максимальным вниманием к вопросам динамики лесов, таксационному строению древостоев и закономерностям географического распростра-

нения типов леса, с возможно полным отражением полученных данных в составляемых естественных классификациях.

Такой подход к изучению типов леса и составлению их местных естественных классификаций позволил бы ускоренно подойти к этапу разработки классификаций генетических по многим сейчас слабо изученным районам Сибири и Дальнего Востока. В числе подобных районов можно назвать Алтай и пространства южно- и среднетаежных подзон в Западной Сибири (Приобье), для которых уже имеются детальное лесорастительное районирование и сводная естественная классификация типов леса, включающая многие элементы генетической [29, 30], часть Прибайкалья, бассейн среднего течения Енисея и Южную Якутию в Восточной Сибири, левобережье бассейна Амура на Дальнем Востоке, а также Средний и Южный Урал и все Зауралье.

Для общего же ускорения перехода к разработке генетических классификаций по всем, а не только названным лесорастительным районам к востоку от Урала целесообразно специальное внимание уделить изучению лесообразовательного процесса по наиболее распространенным лесным формациям, слагающим основу лесного покрова и создающим его региональную специфику. К ним прежде всего относятся темнохвойные леса Западной Сибири, Алтая и Саян («урманная и черневая тайга», «кедровники»), а также лиственничные леса и своеобразные стелющиеся леса (так называемые «заросли») кедрового стланика. Эти лесные формации покрывают огромные площади к востоку от Урала, но изучены исключительно плохо. В частности, по ним непропорционально мало данных о таксационном строении древостоев, возрастной структуре и ходе роста. Крайне поверхностно выявлены также их взаимосвязи с факторами географической среды, например, с сезонной и многолетней (вечной) мерзлотой, выступающей в северных частях Сибири и Дальнего Востока в роли одного из ведущих лесообразовательных факторов, определяющего специфику и уровень гидрологического режима и эффективного плодородия почв местообитаний леса.

Особое внимание следует обратить на заболоченные леса и облепленные болотами, на так называемые «согры», «рямы» и «мари», в сочетании с болотами занимающие колоссальные пространства, но почти совершенно не изученные. Лесообразовательный процесс для них протекает в своеобразных формах, тесно сочетаясь с болотообразовательным, но закономерности обоих совершенно не выявлены. Понимание же их имеет большой практический интерес, поскольку при предстоящем промышленном и гидроэнергетическом освоении природных ресурсов северных районов Сибири и Дальнего Востока именно заболоченные земли, покрытые такими лесами, являются основным фондом сельскохозяйственного освоения [31]. Их изучение поэтому необходимо проводить в тесной связи с разработкой вопросов осушительных лесных мелиораций. Вообще весь комплекс проблем лесного болотоведения для Сибири и Дальнего Востока исключительно актуален и требует энергичной разработки.

Наконец, надо указать на крайнюю важность организации в Сибири и на Дальнем Востоке стационарного комплексного изучения форм взаимодействия и взаимосвязи между лесом и средой, межвидовых взаимоотношений между компонентами лесного покрова и биологических свойств сибирских и дальневосточных лесообразующих пород. В основу организации такого изучения следует положить многолетний и плодотворный опыт стационаров Института леса АН СССР в Европейской части СССР (Теллермановский, Деркульский, Вологодский и другие), выполняющих на лесотипологической базе по единой програм-

ме [3] сложный комплекс исследований в области почвоведения, микро-биологии, метеорологии, лесной гидрологии, физиологии и анатомии древесных растений, фитопатологии, энтомологии и т. д. Подобные исследования открывают возможность глубокого освещения взаимосвязей между средой и растительностью и позволяют накопить материал для количественной характеристики лесообразовательного процесса. Поскольку такое освещение особенно необходимо для оценки защитных функций леса, в том числе ползащитных, названные стационарные исследования в первую очередь следует организовать в степных, лесостепных и горных районах Сибири и Дальнего Востока, а именно в ленточных и островных сосновых борах и березовых колках степи и лесостепи на Западно-Сибирской низменности и в предгорьях Алтая и Саян, в черноберезово-дубовых редколесьях Приханкайской и Зейско-Буреинской равнин, в горных лесах Южного Урала, Алтая, Саян и Прибайкалья, Малого Хингана, южного Сихотэ-Алиня и Сахалина. Наиболее пригодны для создания лесных стационаров территории государственных и местных заповедников (как существующих, так и подлежащих восстановлению и организации вновь), а также различных опытных лесхозов и лесничеств.

Осуществление в течение ближайших 5—10 лет изложенной широкой программы исследований по лесной типологии в лесах восточных районов страны, охватывающей к тому же лишь основные и первоочередные вопросы, потребует большой научно-организационной работы. Необходимо объединить вокруг нее всех немногочисленных и ныне разпыленных по разным «ведомствам» исследователей, прямо или косвенно связанных своими работами и научными интересами с проблемами лесоведения и лесной типологии, координировать их научную деятельность. Для этого совершенно неотложным делом является создание к востоку от Урала местного научного центра по лесоведению и лесоводству в виде Института леса при Сибирском отделении Академии наук СССР. Кроме того, крайне важно расширить и укрепить Дальневосточный и Сибирский научно-исследовательские институты лесного хозяйства, находящиеся в системе Министерства сельского хозяйства РСФСР, и создать при них разветвленную опорную сеть лесных опытных станций и стационаров.

Уральский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
6/XI 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. П. Колесников, Состояние советской лесной типологии и проблема генетической классификации типов леса. Изв. Сиб. отд. АН СССР, № 2, 1958.
2. Б. П. Колесников, Кедровые леса Дальнего Востока. Тр. ДВФАН СССР, II (IV), АН СССР, М.—Л., 1956.
3. В. Н. Сукачев, Основные принципы лесной типологии. Тр. совещания по лесной типологии АН СССР, М., 1951.
4. В. Н. Сукачев, Идея развития в фитоценологии. Советская ботаника, № 1—2, 1942.
5. В. Н. Сукачев, О принципах генетической классификации в биоценологии. Журн. общ. биологии, № 4, 1944.
6. В. Г. Сочава, Вопросы флорогенеза и филогенеза маньчжурского смешанного леса. Сб. «Материалы по истории флоры и растит. СССР», II, АН СССР, М.—Л., 1946.
7. В. Г. Сочава, Пути построения единой системы растит. покрова. Тезисы докладов, вып. IV, Делегатский съезд Всес. ботанич. общества, Л., 1957.
8. Г. Ф. Морозов, Учение о лесе. Изд. 4-е, Госиздат, М.—Л., 1928.
9. Г. Ф. Морозов, Учение о типах насаждений. Сельхозгиз, М.—Л., 1930.

10. В. Н. Сукачев, Основы теории биогеоценологии. Юбил. сб., посвящ. 30-летию Великой Октябрьской революции, ч. II, АН СССР, М., 1947.
11. В. Г. Нестеров, Общее лесоводство. Гослесбумиздат, М., 1949.
12. Г. П. Мотовилов, Лесоводственные основы организации лесного хозяйства СССР, АН СССР, М., 1955.
13. В. Н. Сукачев, Об изучении лесных сообществ, Лесной журнал, № 5, 1918.
14. Б. А. Ивашкевич, Дальневосточные леса и их промышленное будущее. ДВОГИЗ, Хабаровск, 1933.
15. П. С. Погребняк, Основы лесной типологии. Изд. 2, АН УССР, Киев, 1955.
16. Д. В. Воробьев, Типы лесов европейской части СССР, АН СССР, Киев, 1953.
17. В. И. Левин, К вопросу о строении сосняков Архангельской области. Тр. Архангельского лесотехнического ин-та, т. XIII, Архангельск, 1949.
18. В. И. Левин, К вопросу о ходе роста и бонитирования сосновых древостоев Архангельской области. Сб. статей по материалам научн.-техн. конференции, XV, Архангельск, 1955.
19. И. А. Кищенко, Опыт применения статистического метода к изучению строения древесно-растительных сообществ. Сб. «Лесоведение и лесоводство», вып. 1, Л., 1926.
20. В. Н. Сукачев, Руководство к исследованию типов леса. Изд. 3, Сельхозиздат, М.—Л., 1931.
21. К. К. Высоцкий, Опыт использования массового лесоустроительного материала для выявления общих закономерностей расселения лесобразующих пород. Ботанический журнал, 41 (5), 1956.
22. К. К. Высоцкий, Принципы классификации древостоев по типам их развития. Тр. Крымского гос. заповедника, IV, Симферополь, 1957.
23. И. М. Науменко, Об опытных таблицах хода роста насаждений. Лесное хозяйство, № 2, 18—27, 1956.
24. Г. Ф. Хильми, Биогеофизическая теория и прогноз самонизреживания леса, АН СССР, М., 1955.
25. Г. Ф. Хильми, Теоретическая биогеофизика леса. Институт физики земли АН СССР, М., 1956.
26. Труды совещания по лесной типологии 3—5 февраля 1950 г. АН СССР, 1951.
27. В. Н. Сукачев, Предварительные программы стационарных комплексных биогеоценологических исследований. Землеведение, нов. серия, т. 3 (43), 1950.
28. Б. П. Колесников, Конспект лесных формаций Приморья и Приамурья. Сб. «Акад. В. Н. Сукачеву к 75-летию со дня рождения», АН СССР, М.—Л., 1956.
29. Г. В. Крылов, Основные направления и задачи научно-исследовательской работы по рационализации лесного хозяйства в Западной Сибири. Тр. по лесн. хоз., вып. 2, Новосибирск, 1955.
30. Г. В. Крылов, Природа лесов Западной Сибири и направление использования и улучшения лесных богатств. Тр. по лесн. хоз. Зап. Сибири, вып. 3, Новосибирск, 1957.
31. К. П. Горшенин, Пути освоения почв Сибири и задачи почвенных исследований. Изв. АН СССР, сер. биол., № 4, 1957.

А. С. РОЖКОВ

К ДИНАМИКЕ ОЧАГОВ МАССОВОГО РАЗМНОЖЕНИЯ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА В ГОРНЫХ ЛЕСАХ ЮГА ПРИБАЙКАЛЯ

Кедровые леса в горных районах юга Прибайкалья периодически подвергаются губительной деятельности сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschtv.). Изучение вредителя, начатое в Восточной Сибири около шестидесяти лет назад, почти не коснулось этих районов. Нет точных сведений о распространении сибирского шелкопряда и размерах погибших от него насаждений в Тункинском и Окинском аймаках Бурят-Монгольской АССР. Отсутствуют данные по биологии вредителя, неизвестны условия возникновения и особенности развития вспышек его массового размножения в высокогорных лесах.

В данной статье освещаются некоторые характерные особенности вспышек массового размножения сибирского шелкопряда в кедровых лесах Хамар-Дабана.

В горных лесах Хамар-Дабана распространена кедровая раса сибирского шелкопряда; летные годы для нее — нечетные. Вредитель встречается во всех типах насаждений — от смешанных пойменных лесов до кедрового редколесья у верхнего предела древесной растительности. Однако вспышки размножения его возникают главным образом в чистых кедровых насаждениях, реже — в кедровниках с небольшой примесью лиственницы и сосны, растущих по склонам гор. В долинах рек, как и в горах на высоте свыше 1600 м над ур. м., гусеницы шелкопряда встречаются единично. В летные годы бабочки шелкопряда иногда поднимаются в подгольцовую зону, где летают днем в ясную солнечную погоду. Биологический смысл залета бабочек на такие высоты неизвестен.

Для очагов массового размножения сибирского шелкопряда в горных кедровых лесах характерно возникновение и развитие их в виде групп (систем). Это объясняется пересеченностью местности и, соответственно, разорванностью кедровых массивов. В каждой системе могут быть первичные, вторичные, а в фазе собственно вспышки также и миграционные очаги. Часто в системе очагов бывает всего лишь один первичный. Так, в Быстринской системе очагов вспышки размножения шелкопряда в 1953 г. первичным являлся Лазурский очаг. Его площадь в июне 1954 г. равнялась 800 га, что составляло приблизительно шестую часть общей площади очагов этой системы.

Первичные очаги служат источником образования миграционных очагов в эруптивной фазе. В условиях Хамар-Дабана небольшие очаги создаются иногда уже в результате разлета бабочек последней генерации фазы накопления численности. Они, как правило, возникают в пределах возможного распространения первичного очага. Отличительной особенностью первичных очагов является также то, что они вступают в фазу собственно вспышки на год раньше вторичных.

Первая фаза вспышки массового размножения сибирского шелкопряда, подразделяемая некоторыми исследователями на начальную фазу и фазу нарастания численности вредителя (продромальная фаза), не изучена. Во вторичных очагах фаза первоначального накопления охватывает не менее трех генераций вредителя. В первичных очагах, по крайней мере в условиях Хамар-Дабана, первая фаза вспышки сокращается до двух генераций. Так, в Быстринской системе очагов сибирского шелкопряда, развитие которых, без сомнения, началось одновременно (видимо, с генерации 1949—1951 гг.), фаза собственно вспышки началась в первичном (Лазурьском) очаге с 1953 г., а во вторичных (Тултуйский, Додогольский и др.) — с 1955 г. Мы полагаем, что фаза собственно вспышки, или эруптивная, начинается с той генерации вредителя, в которой гусеницы первых трех возрастов (до зимовки) полностью оголяют кроны деревьев. Размеры загубленного насаждения не имеют значения для определения начала эруптивной фазы вспышки массового размножения.

Рассмотрим динамику очагов сибирского шелкопряда в эруптивной фазе на примере Лазурьского очага. Этот очаг расположен на восточном и юго-восточном склонах хребта, являющегося водоразделом между реками М. Быстрая и Лазурька, в кедровом насаждении с небольшой примесью пихты. Лишь на некоторых участках пихта занимает до 20% древостоя. В нижней части северо-западного склона в состав насаждения входят лиственница, сосна, а иногда и береза. Возраст насаждения неоднороден. Большая часть территории занята кедровниками в возрасте до 100 лет, однако имеются участки с 200—400-летними деревьями. В насаждении преобладают III бонитет и полнота 0,6—0,8. Подлесок редкий, состоит из пихтового стланика, рябины, жимолости, шиповника и кашкары. Живой напочвенный покров — из мхов и ягодников (черника, брусника), реже в состав его входит разнотравье.

В центре очага имеется участок древостоя, погибшего от деятельности сибирского шелкопряда в 1945—1946 гг. Площадь старого очага 35—40 га. Первичное накопление вредителя новой вспышки размножения происходило на полосе вдоль северо-западной границы старого шелкопрядника. Площадь очага в июне 1953 г. едва ли превышала 10 га. Вследствие разлета бабочек последней генерации фазы накопления численности (начало эруптивной фазы), площадь Лазурьского очага резко увеличилась и к июню следующего года достигала уже 800 га. На рис. 1 изображена схема северной части Лазурьского очага, на которой выделены разнокачественные, по степени объеденности хвои на деревьях, участки. Большой интерес представляет один из участков старого шелкопрядника (2), где в течение двух лет эруптивной фазы вспышки, до появления бабочек второй генерации, сохранилось около 30% совершенно нетронутых кедров. Наличие здоровых кедров в центре действующего очага объясняется тем, что эти деревья находились среди сухостоя старого шелкопрядника, а возникший вокруг него новый очаг распространялся в радиальном направлении, в здоровые насаждения.

Объедая хвою кедров, гусеницы движутся в радиальном направлении, концентрируясь в большом количестве на полосе, которую можно назвать полосой основного их запаса. Позади нее остаются деревья с полностью объеденной хвоей и единичными гусеницами на них.

Гусеницы, находящиеся в центральной зоне очага, в поисках пищи часто заползают на усыхающие и даже усохшие деревья. Однако, такая дезориентация их в центре очага не отрицает того, что общим на-

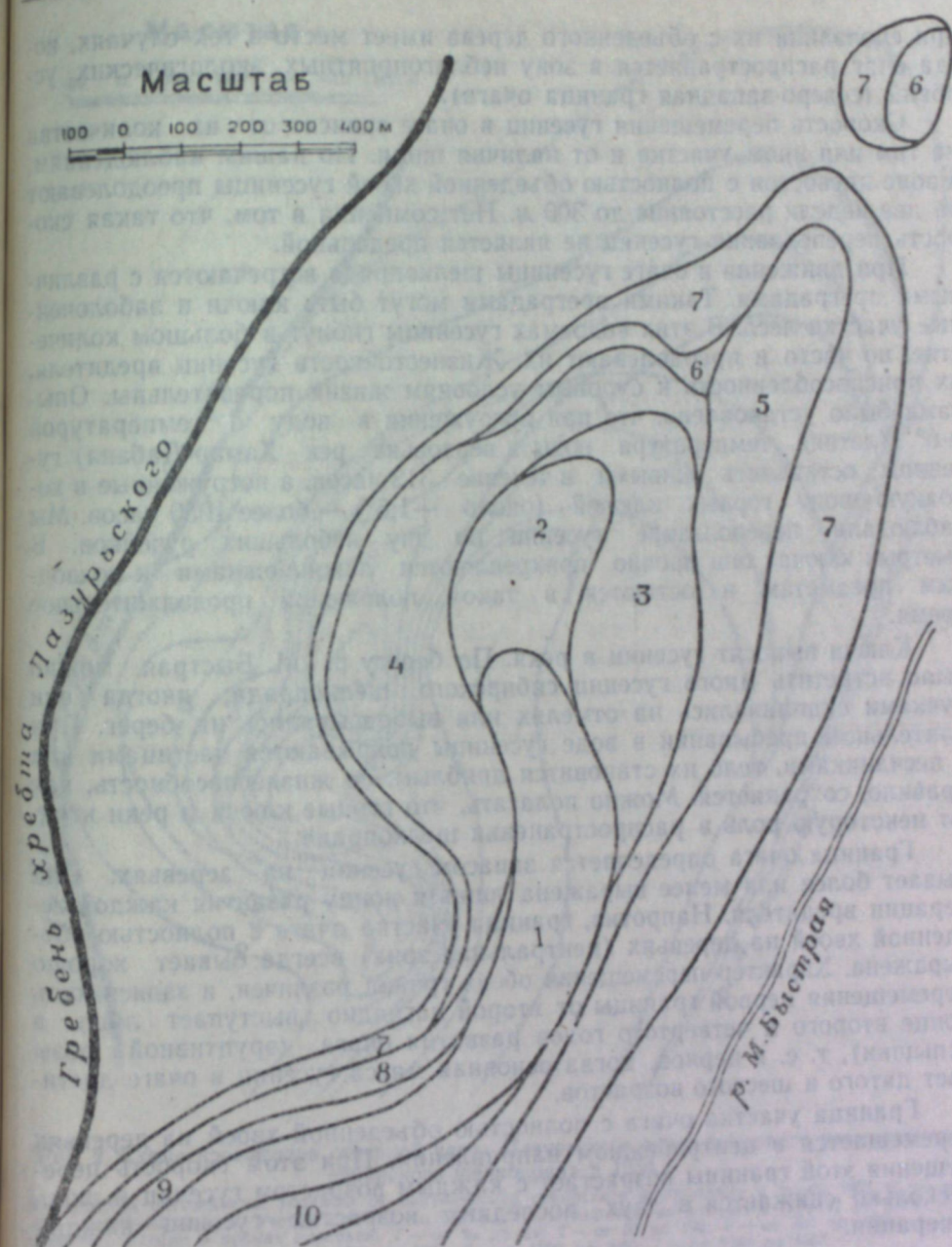


Рис. 1. Поврежденность древостоя сибирским шелкопрядом в северной части Лазурьского очага к июлю 1954 г.

1 — деревья усохли до 1953 г. на 100%; 2 — 70% деревьев усохло до 1953 г., 30% не тронуты; 3 — хвоя объедена осенью 1953 г.; 4 — хвоя объедена полностью в 1954 г.; 5 — хвоя объедена в 1954 г. на 80%; единичные деревья усохли в 1953 г.; 6 — хвоя объедена в 1954 г. на 75—80%; 7 — хвоя объедена в 1954 г. на 15—25%; 8 — 20% деревьев усохло до 1953 г., 5% — объедено полностью в 1953 г.; 9 — хвоя остальных деревьев объедена в 1954 г. на 50—100%; 10 — 50% деревьев усохло до 1953 г., 25% — хвоя остальных деревьев объедена в 1954 г. на 50—100%; 11 — 50% деревьев усохло до 1953 г., 20% объедено в 1953 г., остальные объедены в 1954 г. на 10—100%.

правлением движения гусениц в очаге является движение к здоровому лесу.

На некоторых участках периферии очага мы также наблюдали беспорядочное движение гусениц на поверхности почвы. Создавалось впечатление, что они ползли там в разные стороны и даже в сторону мертвого леса. Хаотичность движения гусениц на поверхности почвы

при сползании их с объединенного дерева имеет место в тех случаях, когда очаг распространяется в зону неблагоприятных экологических условий (северо-западная граница очага).

Скорость перемещения гусениц в очаге зависит от их количества на том или ином участке и от наличия пищи. По нашим наблюдениям, в зоне древостоя с полностью объединенной хвоей гусеницы преодолевают за две недели расстояние до 300 м. Нет сомнения в том, что такая скорость переползания гусениц не является предельной.

При движении в очаге гусеницы шелкопряда встречаются с различными преградами. Такими преградами могут быть ключи и заболоченные участки леса. В этих водоемах гусеницы гибнут в большом количестве, но часто и преодолевают их. Жизнестойкость гусениц вредителя, их приспособленность к суровым условиям жизни поразительны. Опытами было установлено, что при погружении в воду с температурой $+6^\circ$ (летняя температура воды в верховьях рек Хамар-Дабана) гусеницы оставались живыми в течение 312 часов, а погруженные в холодную воду горных ключей (около $+1,5^\circ$) — более 1050 часов. Мы наблюдали переползание гусениц по дну небольших ручейков. В быстрых ключах они прочно прикрепляются ложноножками к подводным предметам и остаются в таком положении продолжительное время.

Ключи выносят гусениц в реки. По берегу р. М. Быстрая можно было встретить много гусениц сибирского шелкопряда; иногда они кучками скапливались на отмелях или выбрасывались на берег. При длительном пребывании в воде гусеницы покрываются частицами ила и песчинками, тело их становится дряблым, но жизнеспособность, как правило, сохраняется. Можно полагать, что горные ключи и реки играют некоторую роль в распространении шелкопряда.

Граница очага определяется запасом гусениц на деревьях. Она бывает более или менее выражена лишь к концу развития каждой генерации вредителя. Напротив, граница участка очага с полностью объединенной хвоей на деревьях (центральная зона) всегда бывает хорошо выражена. Характер перемещения обеих границ различен, и зависимость перемещения первой границы от второй наглядно выступает лишь в конце второго и четвертого годов развития очага (эруптивной фазы вспышки), т. е. в период, когда основная масса гусениц в очаге достигает пятого и шестого возрастов.

Граница участка очага с полностью объединенной хвоей на деревьях перемещается в центробежном направлении. При этом скорость перемещения этой границы возрастает с каждым возрастом гусениц и лишь несколько снижается в двух последних возрастах гусениц каждой генерации.

Общая граница очага, определяющаяся запасом гусениц на деревьях (ее нельзя смешивать с полосой основного запаса), к концу каждой генерации несколько смещается в центростремительном направлении. «Обратное» перемещение границы очага в каждой генерации является следствием, с одной стороны, разлета бабочек (резкое расширение границ очага), с другой, — естественного отпада гусениц по периферии очага.

Лазурский очаг распространялся в северном и северо-восточном направлениях более интенсивно, чем в других направлениях (рис. 2). Этому благоприятствовали условия рельефа (граница очага перемещалась вдоль склона, имеющего одинаковую экспозицию на большом протяжении) и, соответственно, климатические условия, близкие к таковым зоны первоначального накопления вредителя. Не более чем в 700 м от

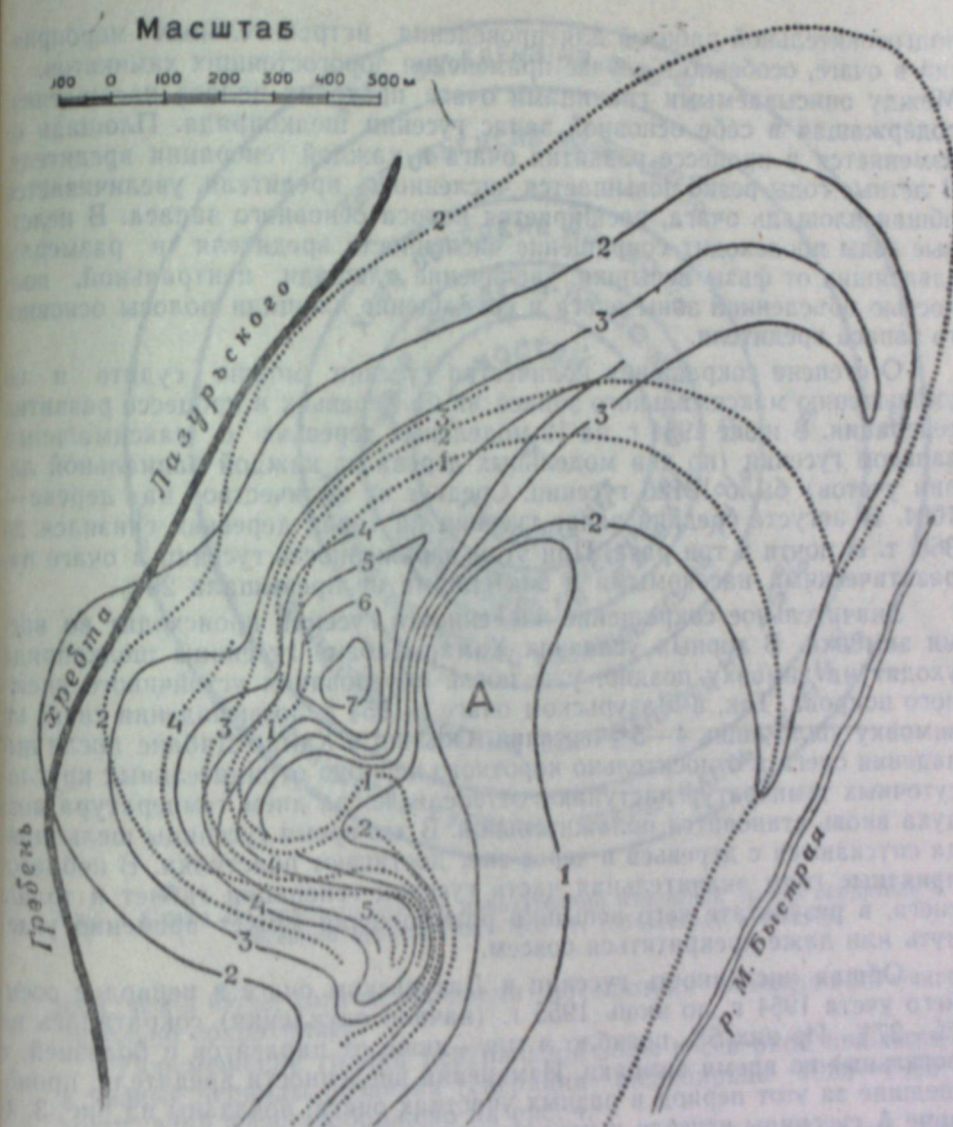


Рис. 2 Схема изоафтонов северной части Лазурьского очага массового размножения сибирского шелкопряда в 1954 г.

А — участок насаждения, усохший от деятельности сибирского шелкопряда к осени 1953 г.; — — — изоафтоны по учетам с 10/VI по 5/VII; . . . изоафтоны по учетам с 17/VIII по 2/IX. Количество гусениц в кронах деревьев: 1 — от 20 до 25; 2 — от 50 до 100; 3 — от 200 до 250; 4 — от 400 до 500; 5 — от 700 до 1000; 6 — от 1500 до 2000; 7 — от 3000 до 4000.

северной границы этой зоны находился небольшой очажок в 4—5 га, который к осени 1954 г. слился с основным Лазурьским очагом.

Западная граница очага, проходящая вдоль гребня хребта, отличалась наибольшей заселенностью гусеницами. В этом направлении очаг распространялся медленно. В июле 1954 г. очаг перешел на западный склон лишь в одном месте, в заметном понижении хребта. Следует полагать, что температурный режим и другие условия на вершинах хребтов, имеющих высоту более 1500 м, являются неблагоприятными для распространения очагов сибирского шелкопряда.

Знать перемещение общей границы очага и границы зоны с полностью объединенной хвоей на деревьях очень важно для понимания динамики развития очага. Определение этих границ является необходимой

подготовительной работой для проведения истребительных мероприятий в очаге, особенно в случае применения дорогостоящих химикатов. Между описываемыми границами очага проходит полоса насаждения, содержащая в себе основной запас гусениц шелкопряда. Площадь ее изменяется в процессе развития очага и каждой генерации вредителя. В летные годы резко повышается численность вредителя, увеличивается общая площадь очага, расширяется полоса основного запаса. В нелетные годы происходит сокращение численности вредителя в размерах, зависящих от фазы вспышки, увеличение площади центральной, полностью объеденной зоны очага и сокращение площади полосы основного запаса вредителя.

О степени сокращения количества гусениц можно судить и по уменьшению максимального запаса их на деревьях в процессе развития генерации. В июне 1954 г. на 12 модельных деревьях с максимальным запасом гусениц (по два модельных дерева на каждой радиальной линии учетов) было 13126 гусениц. Среднее их количество на дереве — 1094. В августе средний запас гусениц на таких деревьях снизился до 368, т. е. почти в три раза. При этом зараженность гусениц в очаге паразитическими насекомыми и бактериями не превышала 26%.

Значительное сокращение численности гусениц происходит во время зимовки. В горных условиях Хамар-Дабана гусеницы шелкопряда уходят на зимовку поздно, уже после образования устойчивого снежного покрова. Так, в Лазурьском очаге в 1954 г. до выпадения снега на зимовку ушло лишь 4—5% гусениц. Обычно в Хамар-Дабане после выпадения снега и относительно короткого периода отрицательных круглосуточных температур наступают оттепели, когда днем температура воздуха вновь становится положительной. В это время гусеницы шелкопряда спускаются с деревьев и через снег достигают подстилки. В неблагоприятные годы значительная часть гусениц генерации гибнет в толще снега, в результате чего вспышка размножения может временно угаснуть или даже прекратиться совсем.

Общая численность гусениц в Лазурьском очаге в период с осеннего учета 1954 г. по июнь 1955 г. (начало окукливания) сократилась на 26—27%. Из них 6% погибло в мае—июне от паразитов и болезней, а остальные во время зимовки. Изменения численности вредителя, происшедшие за этот период в разных участках очага, показаны на рис. 3. В зоне А гусеницы исчезли к началу окукливания. Сильное сокращение численности вредителя в зоне Б произошло главным образом из-за миграции их в соседнюю зону В, где количество гусениц увеличилось на 74% по сравнению с осенью 1954 г. Эта зона к моменту окукливания стала полосой основного запаса вредителя. В остальных двух зонах численность гусениц сократилась на 44—45%, а за их пределами на 18—20%.

О скорости объедания гусеницами хвои деревьев можно судить по темпам увеличения площади погубленного ими насаждения. Гусеницы первого и второго возрастов в год отрождения из яиц уничтожают лес на небольшой площади по сравнению с последующими возрастами. По нашим наблюдениям, период активного объедания гусеницами хвои кедров в Хамар-Дабане длится около 100 дней (с 1 июня по 10 сентября). По данным обследования в последних числах июня 1954 г., в северной части Лазурьского очага сибирским шелкопрядом погублено 54 га леса. Из этой площади 26 га относятся к старому очагу, 13 га уничтожено в 1953 г. и 15 га — в течение июня 1954 г. В июле и августе гусеницы уничтожили 56 га леса (в той же части очага), причем около 36 га — в августе. Таким образом, в августе сибирским шелкопрядом был полностью уничтожен лес на площади, почти в два с половиной раза боль-

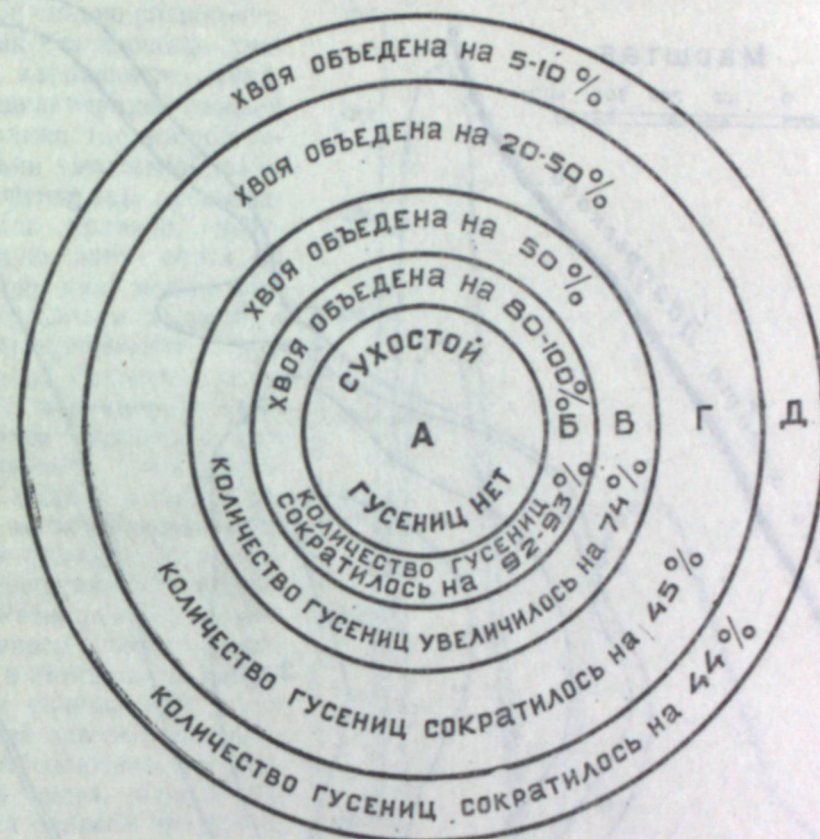


Рис. 3. Схема Лазурьского очага с показателями изменений запаса вредителя в зимне-весенний период 1954—1955 гг. (объяснение в тексте).

шей, чем в июне, хотя за это время абсолютная заселенность очага значительно сократилась.

Перемещение границ центральной зоны в северной половине очага в разные периоды развития генерации шелкопряда 1953—1955 гг. в эруптивной фазе изображено на рис. 4.

В сентябре темп распространения очага резко снизился. Граница древостоя с полностью объеденной хвоей продвинулась за сентябрь не более чем на 15—20 м. Сравнительно небольшие изменения площади центральной зоны произошли после вторичной зимовки гусениц. За период с 1 сентября 1954 г. по 15 июня 1955 г. (начало массового кокониования гусениц) площадь северной части центральной зоны Лазурьского очага увеличилась всего лишь на 12 га.

Соотношение площадей леса, уничтожаемого гусеницами одной генерации в первом, втором и третьем годах их развития, не может быть постоянным. Однако в общем оно, видимо, близко к приводимым нами данным. Мы полагаем, что в среднем это соотношение в условиях Хамар-Дабана должно быть следующим: 10—25% площади леса уничтожается в год отрождения гусениц, до их ухода на зимовку, 65—90% площади — во втором (нелетном) году и 0—10% — в третьем году (до кокониования) развития одной генерации. В фазе накопления численности гусеницы уничтожают лес в весенний период летного года на относительно большей площади, тогда как в фазе затухания вспышки их вредная деятельность сокращается до минимума и совершенно прекращается к концу развития последней генерации. Под воздействием резко

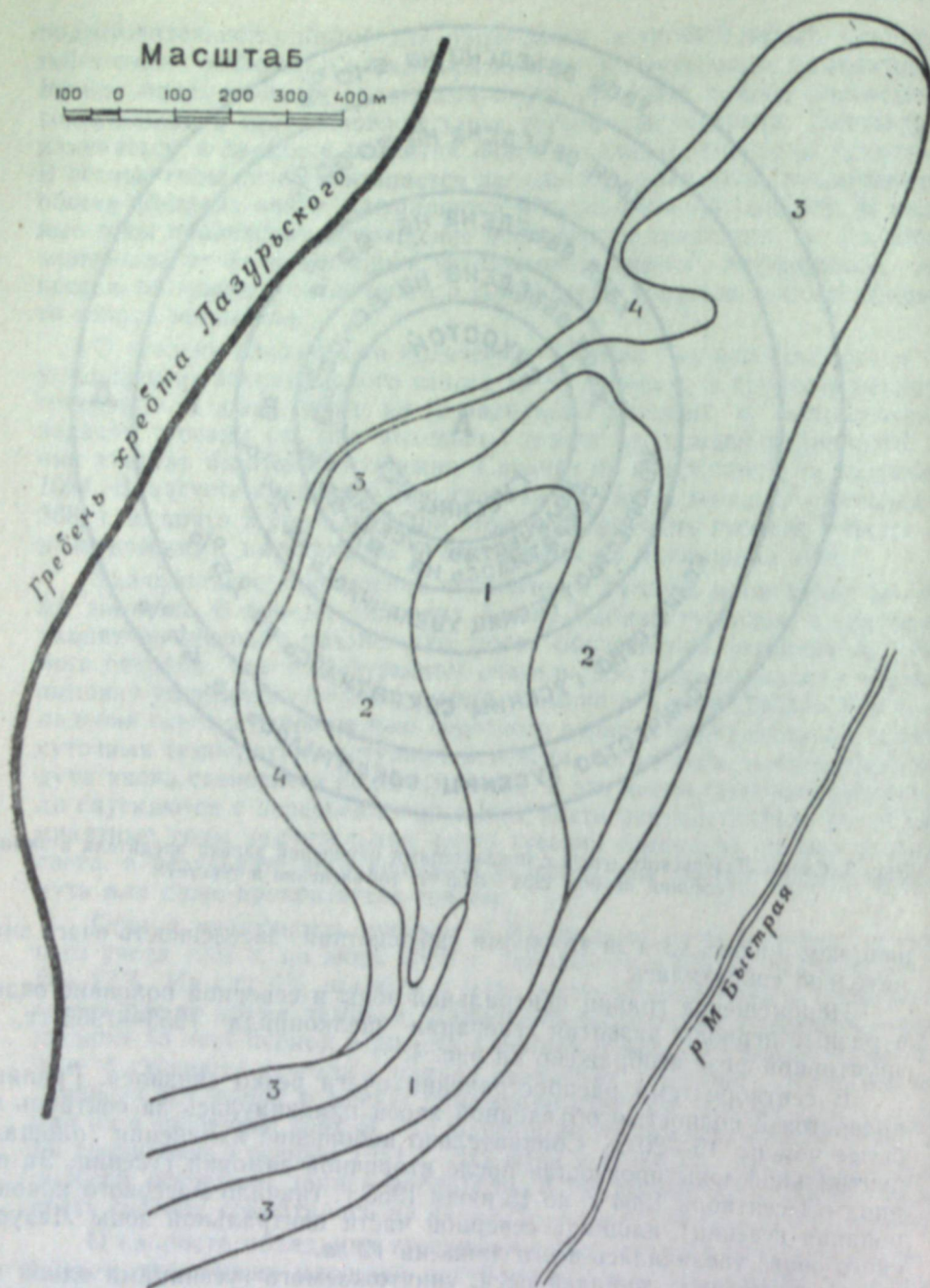


Рис. 4. Схема распространения центральной зоны Лазурьского очага за время развития одной генерации шелкопряда в фазе собственно вспышки.
1 — шелкопряда 1945—1946 гг.; 2 — деревья оголены гусеницами осенью 1953 г. и в июне 1954 г.; 3 — деревья оголены в июле — августе 1954 г.; 4 — деревья оголены в сентябре 1954 г. и в июне 1955 г.

изменившихся биотических или климатических факторов среды динамика центральной зоны, как и очага в целом, нарушается, и вспышка может прекратиться в любой фазе.

В летные годы сибирского шелкопряда происходят наиболее резкие изменения площади очага и численности вредителя. Полоса основного

запаса сильно расширяется, так что площадь участка, зараженного яйцами шелкопряда каждой генерации (до второй генерации эруптивной фазы включительно), превышает, как правило, центральную зону очага. В эти годы очаг может распространиться в зоны с неблагоприятными для развития вредителя условиями, например, в высокогорное редколесье или смешанные пойменные леса. Однако в этих условиях из-за высокой смертности гусеницы не приносят существенного вреда.

Расширение полосы основного запаса вредителя в летные годы приводит к сокращению абсолютной заселенности очага. Абсолютная заселенность очага, определяющаяся запасом вредителя на единицу площади, бывает наибольшей в первый год эруптивной фазы вспышки. В каждой последующей генерации абсолютная заселенность очага в целом сокращается даже при условии слабой активности паразитов и благоприятном сочетании других факторов среды.

Наибольшая смертность гусениц в очаге от голода начинается со второй генерации эруптивной фазы, вследствие одновременного уничтожения хвои на деревьях на большой площади. Эта генерация является переломной в динамике очага. Он вступает в фазу затухания.

На рис. 5 изображена схема изменения численности и перемещения полосы основного запаса вредителя в северной части Лазурьского очага за период с осени 1953 г. по июль 1955 г.

Дальнейшее развитие Лазурьского очага прослежено не было, так как в августе 1955 г. он был полностью ликвидирован авиационной обработкой.

Восточно-Сибирский
филиал Академии наук СССР

Поступила в редакцию
17/XII 1957

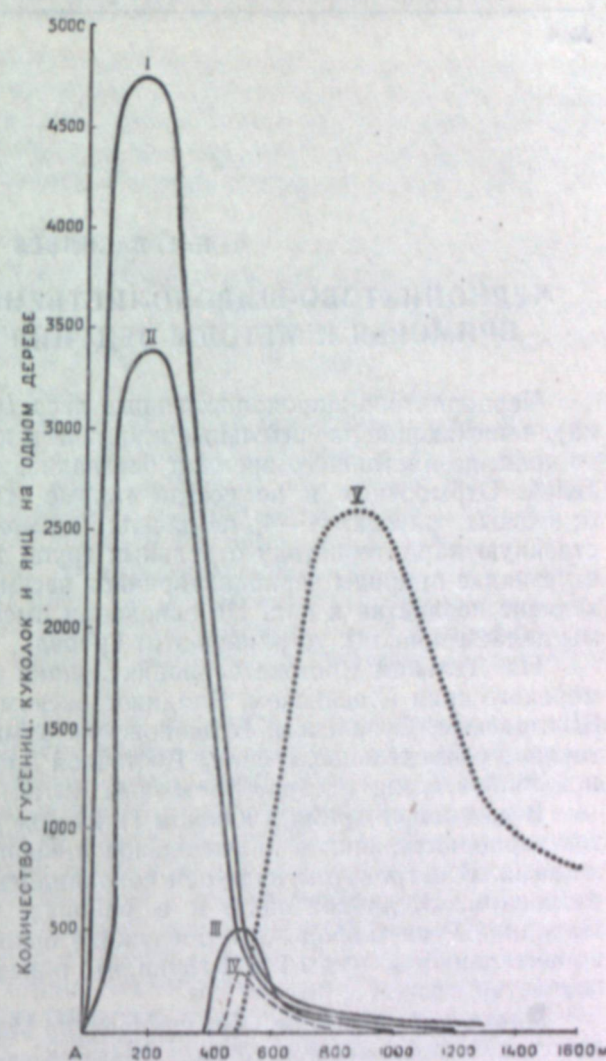


Рис. 5. Динамика численности и полосы основного запаса вредителя в северной части Лазурьского очага за период с осени 1953 г. по июль 1955 г.

А — граница древостоя с полностью объединенной хвоей к 1 сентября 1953 г., — — — гусеницы, — — — куколки, * * * яйца, I — сентябрь 1953 г., II — июнь 1954 г., III — август 1954 г., IV — V — июль 1955 г.

Н. Г. ВАСИЛЬЕВ

ЧЕРНОПИХТОВО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫЕ ЛЕСА ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ И МЕТОДЫ ВЕДЕНИЯ ХОЗЯЙСТВА В НИХ

Чернопихтово-широколиственные леса (сокращенно чернопихтарники), занимающие значительные площади в южных районах Приморского края, до настоящего времени оставались вне поля зрения исследователей. Отрывочные и не всегда точные сведения, содержащиеся в отдельных работах [1—4], не давали возможности составить лесоводственную характеристику отдельных групп типов чернопихтовых лесов, а незнание природы чернопихтарников весьма затрудняло рациональное ведение хозяйства в них. На основании имеющихся у нас материалов* мы делаем попытку устранить этот пробел.

На Дальнем Востоке чернопихтарники произрастают на юге Приморского края (Хасанском, Владивостокском, Ворошиловском сельском, Шкотовском, Сучанском, Буденновском административных районах), а также в сопредельных странах Восточной Азии (в Корее) и Юго-Восточной Маньчжурии (Северо-Восточный Китай) [5, 6].

В настоящее время в Южном Приморье нашей страны, Корее и Китае чернопихтарники в значительной степени изменены рубками и пожарами. В нетронutom виде они сохранились лишь в заповедниках Супутинском, «Кедровая падь» и в районах, пограничных с Китайской Народной Республикой. Это послужило основанием для отнесения чернопихтарников к лесам I и II групп, что определяет особенности ведения хозяйства в них.

Пихта цельнолистная (*Abies holophylla* Max.) Синонимы — пихта черная, пихта маньчжурская и пихта приморская, главная лесообразующая порода чернопихтовых насаждений, отличается рядом ценных лесоводственных свойств. Это самое мощное дерево лесов Дальнего Востока, достигающее 55 м высоты и более 2 м в диаметре на уровне груди. По быстроте роста эта порода приближается к сосне обыкновенной, способна энергично прирастать по всем таксационным элементам ствола даже после длительной задержки в росте (100—120 лет) и сохранять большой прирост вплоть до глубокой старости. Она хорошо возобновляется под пологом леса и на лесосеках [7], легко вводится в лесные культуры посевам и посадкой, более ветро- и огнеустойчива, чем остальные дальневосточные темнохвойные породы. Древесина пихты цельнолистной, в отличие от древесины других видов пихт, естественно произрастающих в пределах СССР, отличается высокими физико-механическими свойствами [8, 9], слабо повреждается грибными болезнями [10] и древоточащими насекомыми [11].

В чернопихтовых лесах произрастают некоторые лиственные породы, дающие ценную спецдревесину (береза железная, или Шмидта, диморфант, бархат амурский и др.).

* Работа выполнена в 1955—1956 гг. в лаборатории лесоведения ДВФАН СССР под руководством Б. П. Колесникова.

Чернопихтово-широколиственные леса по обилию участвующих в их сложении разнообразных древесных пород относятся к лесам многовидовым и смешанным, и им свойственны, как и лесам корейского кедр [12], многоярусность растительности, большая разновозрастность насаждений и сложные межвидовые взаимоотношения между компонентами всех ярусов.

Чистые чернопихтовые насаждения, в которых абсолютно преобладала бы пихта цельнолистная, как правило, не встречаются. Обычно даже в составе спелых чернопихтовых насаждений имеются многочисленные лиственные породы, доля участия которых в первом ярусе может доходить до 2—3, а в третьем ярусе — до 7—9 единиц.

Общее количество деревьев и кустарников, растущих в чернопихтарниках, достигает 200 видов. А если учесть всю травянистую, моховую и лишайниковую растительность, то список растений, характеризующий флористический состав этих лесов, превысит 1000 видов. Ни одна из хвойных лесных формаций Советского Союза не обладает таким флористическим богатством и многовидовым составом насаждений.

Чернопихтово-широколиственным лесам свойственны свои особенности процессов возрастных смен. Но общий ход и направленность этих смен характеризуется теми же закономерностями, что и в кедровых лесах, возрастная динамика которых изучалась Б. А. Ивашкевичем [13] и Б. П. Колесниковым [12].

Эти закономерности следующие: а) пихта цельнолистная и кедр корейский более долговечны, чем многие совместно с ними произрастающие лиственные породы (клены, березы, липы, граб и др.). Обычно за один возрастной цикл развития основного поколения пихты и кедра сменяется до двух-трех поколений менее долговечных лиственных пород; б) естественное возобновление пихты и кедра под пологом спелых высокополнотных материнских насаждений в основных типах леса протекает неудовлетворительно, тогда как возобновление лиственных пород может происходить успешно; в) подрост пихты и кедра в достаточном количестве появляется только на стадии естественного разрушения древостоя, когда из верхних ярусов вываливаются перестойные стволы хвойных пород и снижается полнота и сомкнутость насаждения. Преобладание в составе древостоя временно переходит к лиственным породам, до тех пор пока новые поколения пихты и кедра, возникшие из подростка на стадии разрушения, не придут им на смену.

Таким образом, весь цикл возрастного развития чернопихтарников и кедровников распадается на фазу господства хвойных и фазу господства лиственных пород. Возрастная динамика чернопихтарников отличается от динамики кедровников только иным количеством и иной продолжительностью возрастных стадий развития. Возрастной цикл развития кедровников, по Б. А. Ивашкевичу и Б. П. Колесникову, распадается на 8 стадий, каждая продолжительностью 40 лет. По нашим материалам, возрастной цикл развития чернопихтарников делится на 6 стадий, продолжительность каждой из которых колеблется от 30 до 60 лет. Но различия нашей схемы от возрастной схемы развития кедровников Б. А. Ивашкевича и Б. П. Колесникова второстепенны и не имеют принципиального значения.

Помимо крупной познавательной ценности (как своеобразная лесная формация Дальнего Востока), чернопихтарники имеют важное народнохозяйственное значение. Они обладают богатыми запасами ценных древесных пород, а также играют большую почвозащитную и водоохранную роль.

Выделение и описание типов и групп типов леса чернопихтарников

нами проводилось в соответствии с принципами генетической классификации Б. А. Ивашкевича [14] и Б. П. Колесникова [12].

Основные лесохозяйственные мероприятия разработаны нами для отдельных групп типов леса, при выделении которых мы руководствовались признаками качественного сходства условий местопроизрастания по гидрологическому режиму и богатству почв, по близости показателей производительности насаждений на стадии спелости и по общности экологического облика их наиболее характерных компонентов. По этим признакам выделено пять групп типов леса: чернопихтарники сухие, периодически-сухие, свежие, влажные и сырые. Лесоводственная характеристика этих групп и методы ведения хозяйства в них приводятся ниже.

Сухие чернопихтарники. Распространены только в Хасанском районе (южная часть ареала), где они занимают узкие гребни водоразделов и прилегающие к ним очень крутые (до 45°) верхние части склонов, преимущественно южных экспозиций. В горы поднимаются до 600 м над ур. м. Почвы бурые горно-лесные, малоразвитые, сильноскелетные, сухие. Насаждения просты по строению, сравнительно бедны по флористическому составу и отличаются низкой производительностью (IV—V класс бонитета). В возрасте 160—170 лет они имеют среднюю высоту 13—15 м, запас на 1 га 130—150 м³, сумму площадей сечения 16—20 м² и сомкнутость 0,4—0,6. В сложении древесного яруса, помимо пихты цельнолистной, принимают участие дуб монгольский, береза даурская и ясень носолистный; единично встречается береза железная и груша уссурийская.

Подлесок редкий и размещен группами. В его составе преобладают леспедеца двуцветная и рододендрон амурский.

Травяной покров редкий (общее проективное покрытие не больше 20—30%). Фон составляют полины, мелкие лесные осочки, чины и другие представители засухоустойчивой растительности.

Благодаря небольшой сомкнутости насаждений и слабому развитию яруса подлеска и трав возобновление пихты цельнолистной под пологом спелых насаждений в целом протекает удовлетворительно (на 1 га до 4,5 тыс. шт. самосева и до 1,5 тыс. шт. подроста в возрасте 10—15 лет)*, в результате чего возрастные смены в группе сухих чернопихтарников не выражены.

Эрозионные процессы после бессистемных выборочных рубок и губительных пожаров проявляются весьма интенсивно, что говорит о высоком почво- и склонозащитном значении сухих чернопихтарников. Сухие чернопихтарники необходимо отнести к категории лесов защитного значения, что и определит особенности ведения хозяйства в них.

Учитывая, что эта группа чернопихтарников легко подвергается пожарам, необходимо организовать их противопожарную охрану. Кроме того, следует рекомендовать проведение санитарных и добровольно-выборочных рубок. Выборку следует проводить равномерно по всей площади лесосеки. Ни в коем случае нельзя допускать снижения полноты и сомкнутости насаждений ниже 0,4. Вначале вырубается сухостойные, фаутовые, перестойные деревья, а также деревья с техническими дефектами и хозяйственно малоценные листовые породы. При санитарных рубках сроки их не устанавливаются, а при добровольно-выборочных повторяемость рубок в одном и том же насаждении назначается через 3—6 и в отдельных случаях через 8—10 лет. Санитар-

* К самосеву относились молодые экземпляры пихты (от 1 до 5 лет), имеющие высоту до 10 см. Экземпляры, имеющие высоту более 10 см и соответственно возраст выше 5 лет, отнесены к подросту.

ные и добровольно-выборочные рубки могут проводиться в течение всего года.

Порубочные остатки рекомендуется разбрасывать равномерно или складывать их в валики и кучи, ориентируя длинной стороной по горизонтали склона, для предотвращения процессов почвенной эрозии.

Периодически-сухие чернопихтарники. Встречаются они только в Хасанском районе, где занимают крутые и среднекрутые склоны гор, преимущественно южных экспозиций, распространяясь до горизонтали 400 м над ур. м.

Почва бурая горно-лесная, слабоподзоленная, среднеспелая, сформированная на щебнисто-обломочном элювии.

В начале вегетационного периода (май, первая половина июня), когда выпадает небольшое количество осадков, почвы по режиму влажности сухие и с наступлением муссонных дождей (июль, август) — свежие.

Древостой двухъярусный, их производительность на стадии спелости характеризуется III классом бонитета. Общий запас насаждения в возрасте 180—190 лет составляет 300—350 м³ на 1 га при сумме площадей сечения 28—30 м², сомкнутости 0,6—0,7 и средней высоте первого яруса 25—27 м. В составе первого яруса участвуют пихта цельнолистная, дуб монгольский, липа Таке и береза железная. В составе второго яруса, помимо названных пород, встречаются груша уссурийская, ясень носолистный и клены мелколистный и ложнозибольдов.

Подлесок средней густоты и сложен в основном диервиллой цветущей и лещиной маньчжурской, а травяной покров — представителями ксеромезофитов (лесные осочки, володушка, хлорант японский и др.).

Возобновительный процесс в спелых насаждениях протекает удовлетворительно (на 1 га до 5 тыс. шт. самосева пихты и до 2 тыс. шт. подроста в возрасте 12—20 лет). Возрастные смены, как и в группе сухих чернопихтарников, не выражены.

После бессистемных выборочных и условно-сплошных рубок и пожаров коренные насаждения сменяются производными липово-дубовыми, кленово-дубовыми и железно-березово-дубовыми насаждениями с низкой производительностью дровяной древесины (80—120 м³ на 1 га).

Современное хозяйственное значение периодически-сухих чернопихтарников определяется их высокими защитными свойствами и участием в их составе березы железной, дающей спецдревесину.

Рекомендуется проведение санитарных, добровольно-выборочных и постепенных трехприемных рубок. Санитарные и добровольно-выборочные рубки следует проводить на склонах, крутизной свыше 25°, исходя из тех же принципов, что и для группы сухих чернопихтарников.

На склонах крутизной до 25° в спелых насаждениях рекомендуется проведение постепенных трехприемных рубок. Первый прием рубки желательно приурочить к семенному году. При проведении этого приема в насаждениях с полнотой 0,5—0,6 допустимо снижение полноты не больше чем на 0,1, а в насаждениях с полнотой 0,7—0,8 не больше чем на 0,2 единицы при вырубке от 10 до 20% общего запаса насаждения. После успешного возобновления и достижения подростом пихты высоты 30—50 см, т. е. спустя 6—10 лет, проводится второй прием рубок, при котором вырубка от запаса оставшейся части насаждения составляет 20—30%, а полнота доводится до 0,3—0,4. Образование значительных прогалов и окон в пологом древостое не допускается. Третий, окончательный прием рубок, при котором вырубается сохранившийся от второго приема древостой, проводится тогда, когда подрост достигнет высоты 1—1,5 м и перерастет ярус кустарников, т. е. по прошествии 6—

8 лет после второго приема. В том случае, когда имеется возможность сразу провести прореживание и вырубку подлеска, срок проведения третьего приема рубок может быть снижен до 3—4 лет. Размеры и конфигурация лесосек определяются общей конфигурацией и формой рельефа. Прimoreние непосредственное, сроки примыкания не устанавливаются. Первый прием рубок можно проводить в любое время года, второй и третий приемы, с целью сохранения подроста, желательно приурочить к зимнему периоду. Способы очистки лесосек такие же, как и в группе сухих чернопихтарников.

Свежие чернопихтарники. Это наиболее распространенная группа, произрастающая в пределах всего ареала чернопихтовых лесов в Южном Приморье. В Хасанском районе (южная часть ареала) свежие чернопихтарники занимают среднекрутые северные и пологие южные склоны, поднимаясь в горы от подножья склонов до 500 м над ур. м. В Ворошиловском и Шкотовском районах (северная часть ареала) они произрастают на среднекрутых и пологих склонах, преимущественно южных экспозиций, занимая средний, самый выровненный по климатическим показателям пояс гор (200—400 м над ур. м.).

Почвы бурые горно-лесные, оподзоленные, свежие, хорошо дренированные.

Древостой трехъярусный, с высокой полнотой (0,8—1,0) и большой сомкнутостью крон (0,9—1,0); их производительность на стадии спелости характеризуется III—II классами бонитета. Общий запас насаждения в возрасте 180—190 лет составляет 500—600 м³ на 1 га (максимальный 700 м³) при сумме площадей сечения 45—50 м² (максимальная 55 м²). Первый ярус сложен хвойными породами — пихтой цельнолистной и кедром корейским; из лиственных единично участвуют береза желтая и дуб монгольский. В составе II яруса, помимо названных пород, встречаются липы амурская, маньчжурская и Таке, ильм лопастной, клены маньчжурский и мелколистный, бархат амурский, диморфант, мелкоплодник и другие широколиственные породы. III ярус почти полностью сложен лиственными породами, в составе которых преобладают граб сердцелистный и пять видов кленов.

Подлесок многовидовой, фон в нем создают чубушник, дейция, жимолости, бересклеты.

Травяной покров сложен многочисленными мезофильными видами, в составе которых заметное участие принимают папоротники.

Возобновление пихты цельнолистной в спелых насаждениях протекает неудовлетворительно (меньше 1 тыс. шт. подроста на 1 га в возрасте 6—12 лет), что объясняется большой полнотой и высокой сомкнутостью материнского насаждения. Хорошо возобновляется пихта только на стадии естественного распада и разрушения верхнего яруса древостоя (до 8,5 тыс. шт. подроста на 1 га в возрасте 10—25 лет), благодаря тому, что вываливаются огромные перестойные деревья пихты и кедра и в пологие насаждения появляются просветы. Из-за такого прерывистого протекания процессов естественного возобновления преобладание в древостое на стадии разрушения может временно переходить к лиственным породам.

В результате бессистемных выборочных и условно-сплошных рубок и пожаров, имевших место в прошлом, значительная часть коренных насаждений свежих чернопихтарников заменена производными широколиственными насаждениями.

Рекомендуемые рубки в группе свежих чернопихтарников — постепенные двухприемные и сплошные лесовосстановительные. Постепенные двухприемные рубки следует проводить в коренных насаждениях, нахо-

дящихся на стадии спелости, с возраста 160—170 лет. В первый прием рекомендуется вырубать 40—50% общего запаса насаждения, но полнота насаждения не должна снижаться ниже 0,4. Второй прием следует проводить через 10—15 лет после первого. Очистка лесосек после первого приема рекомендуется огневая в малых кучах (1,5×1,5×1 м), приурочиваемых к местам густого подроста и развитого травяного покрова; после второго приема — огневая в крупных кучах (3×3×2 м), размещаемых в местах, свободных от подроста и удаленных от ближайших групп его на 5—6 м.

Первый прием постепенных двухприемных рубок можно проводить в любое время года, второй желательно приурочить к зимнему периоду.

Сплошные лесовосстановительные рубки следует проводить в коренных насаждениях, находящихся на стадии естественного разрушения, и в коротко-производных типах насаждений, как правило, характеризующихся хорошим возобновлением пихты. Очистка лесосек — огневая в крупных кучах.

Влажные чернопихтарники. Распространены повсеместно, но занимают меньшие площади, чем предыдущая группа типов леса. В Хасанском районе произрастают на пологих склонах всех экспозиций и на участках горных котловин, не поднимаясь выше 400 м над ур. м. В Ворошиловском и Шкотовском районах, в силу явления температурной инверсии, занимают средний, самый теплый пояс гор (200—300 м над ур. м.), где приурочены к пологим склонам и к долинам горных ключей, преимущественно южных экспозиций.

Почвы бурые и желтоземно-бурые, мощные, слабоскелетные, достаточно (но не избыточно) увлажненные, хорошо дренированные.

Производительность насаждений на стадии спелости, по сравнению с производительностью насаждений других групп чернопихтарников, наивысшая и оценивается I—Ia классами бонитета. На стадии спелости и перестойности встречаются участки насаждений, имеющие общий запас древесины до 1000 м³ на 1 га и сумму площадей сечения до 70 м² на 1 га.* Древостой разновозрастный, трех- и четырехъярусный; иногда можно выделить и пятый ярус. На стадии спелости два верхних яруса сложены в основном пихтой цельнолистной с примесью кедра корейского; из лиственных в состав этих ярусов могут входить ясень маньчжурский, ильм долинный, липа амурская, орех маньчжурский и бархат амурский. III и IV ярусы сложены преимущественно разнообразными широколиственными породами (всего до 20 видов).

Подлесок многовидовой; преобладают дейция, чубушник, смородина, жимолости и акантопанакс скученноцветный.

Травяной покров сложен многочисленными представителями мезофильного разнотравья.

В флористическом отношении группа влажных чернопихтарников наиболее богата и своеобразна, содержит большое количество реликтовых растений.

Протеканию процессов естественного возобновления свойственны те же закономерности, что и для группы свежих чернопихтарников: в спелых насаждениях возобновление хвойных пород неудовлетворительное (подроста пихты и кедра меньше 0,5 тыс. шт. на 1 га), и только на стадии естественного разрушения насаждения возобновление пихты становится достаточным (до 6,5 тыс. шт. на 1 га). Поэтому и возраст-

* По данным Б. А. Ивашкевича [14], сумма площадей сечения 58 м² на 1 га является наивысшей для кедровых лесов и принята им в качестве единицы полноты для дальневосточных хвойных насаждений.

ные смены в группе влажных чернопихтарников характеризуются теми же особенностями, что и в группе свежих чернопихтарников.

К настоящему времени высокопроизводительные коренные насаждения данной группы типов леса в результате бессистемного ведения хозяйства в прошлом в большинстве районов Южного Приморья замещены на менее производительные широколиственные. Современное хозяйственное значение этих лесов определяется наличием запасов ценных лиственных пород и отчасти пихты и кедра.

Рекомендуемые рубки в спелых насаждениях — трехприемные с равномерной выборкой древесины во все приемы (до одной трети запаса) и с общим лесорубочным циклом в 30 лет. Двухприемные рубки проводятся в том случае, если нет опасности буйного развития подлеска и травяного покрова. В первый прием следует вырубать 20—30% запаса древостоя. Снижение полноты ниже 0,6 не допускается. Второй прием проводится через 15—18 лет, т. е. после достижения подростом высоты 1—1,5 м. Очистка лесосек во все приемы — огневая в кучах.

Первый прием постепенных рубок можно проводить в течение всего года, второй и третий желательнее приурочить к зимнему периоду.

В производных насаждениях может быть организована выборочная заготовка спецдревесины ценных лиственных пород (ясень маньчжурский, диморфант, орех маньчжурский и др.).

В коренных типах насаждений на стадии разрушения и в короткопроизводных сплошные лесовосстановительные рубки следует рекомендовать только в том случае, если они могут сочетаться с рубками ухода за подростом.

Сырые чернопихтарники. Распространены только в Хасанском районе (долины рек Амба, Эльдуга, Сандуга, Большой Мангугай, Кедровая и др.). Занимают низкие участки надпойменных террас, которые заливаются во время наводнений речными водами.

Почвы бурые лесные, глееватые, иловато-песчаные или иловато-суглинистые на галечниковом аллювии.

Древостой одноярусный, низкой производительности. В возрасте 160—180 лет имеют среднюю высоту 14—16 м, запас на 1 га 130—160 м³ (максимальный 200 м³), сумму площадей сечения 22—26 м² (максимальная 28 м²) и сомкнутость 0,5—0,6. Участие пихты цельнолистной в составе древостоя не превышает 5 единиц; остальные единицы состава в основном заполнены ясенем маньчжурским, ильмом длинным и тополем Максимовича.

В составе подлеска преобладают рябинолистник и спирея иволистная, а в составе травяного покрова — гигрофильное разнотравье.

Естественное возобновление пихты цельнолистной неудовлетворительное из-за густого подлеска и мощно развитого травяного покрова, образующего дернину. Кроме того, на процессы возобновления оказывает влияние постоянная переувлажненность почв; из-за этого подрост пихты приурочен исключительно к микроповышениям и к полуразложившемуся валежнику.

Ход возрастных смен в группе сырых чернопихтарников в основном определяется размывающей деятельностью реки, в результате чего в составе древостоя может возрастать доля участия или пихты цельнолистной, или лиственных пород.

В настоящее время сырые чернопихтарники сильно изменены рубками и пожарами и почти повсеместно замещены на производные долинные широколиственные насаждения.

Современное хозяйственное значение насаждений группы сырых чернопихтарников в основном определяется их руслоукрепляющей и

Таблица 1
Характеристика водоохранной и защитной роли и лесопромышленной ценности чернопихтовых лесов Южного Приморья

Группы типов леса и крутизна склонов в горах	Характер водоохранной и защитной роли леса	Класс выраженности водоохранной и защитной роли леса (по шкале И. В. Тюрина)	Класс лесопромышленной ценности	Характеристика лесопромышленной ценности	Основные виды лесохозяйственных мероприятий
Горные чернопихтарники					
Сырые чернопихтарники (25—40%)	Крупное почвозащитное и склоноустойчивое значение	I, высший	IV, низший	Занимают весьма ограниченные площади, преимущественно в Хасанском районе. Низкие выходы общей и деловой древесины. В небольших размерах может заготавливаться спецдревесина из березы железной. Коренных насаждений не сохранилось.	Санитарные и доборно-выборочные рубки
Периодически сухие чернопихтарники (30—35%)	Почвозащитное, склоноустойчивое и селеобразующее значение	II, высокий	III, средний	Занимают незначительные площади, преимущественно в Хасанском районе. Характеризуются средними показателями выхода деловой древесины; могут рассматриваться как основная база для заготовки спецдревесины березы железной. Коренных насаждений сохранилось мало.	Санитарные, доборно-выборочные и постепенные трехприемные рубки
Сухие чернопихтарники (40—50%)	То же, что и во второй группе типов, но в более ослабленной степени	III, средний	II, высокий	Наиболее распространенные из всех групп типов чернопихтарников; занимают значительные площади; характеризуются высокими выходами общей и деловой древесины пихты цельнолистной и ценных лиственных пород (орех, диморфант, ясень и др.). В настоящее время в сильной степени изменены рубками и пожарами, и в промышленную эксплуатацию могут быть вовлечены массивы на небольших площадях.	Постепенные двухприемные и сплошные лесовосстановительные рубки
Влажные чернопихтарники (15—20%)	Коллекторное и селеобразующее значение	IV, низший	III, средний (из-за незначительности площадей и преобладания в их составе участков, занятых в настоящее время производными насаждениями)	Занимают незначительные по площади участки, расположенные среди типов третьей группы в наиболее доступных и удобных для эксплуатации местах, в результате чего коренных насаждений сохранилось мало. В настоящее время лесопромышленная ценность производных насаждений определяется наличием запасов ценных лиственных пород.	Постепенные двух- и трехприемные и сплошные лесовосстановительные рубки
Долинные чернопихтарники					
Сырые чернопихтарники	Крупное водоохранное, руслоукрепляющее и берегозащитное значение	I, высший	IV, низший	Занимают небольшие площади, преимущественно в Хасанском районе. Выход деловой древесины пихты цельнолистной незначителен. Может быть организована выборочная заготовка стволов ясеня маньчжурского.	Санитарные и доборно-выборочные рубки

берегозащитной ролью и наличием запасов ещедревесины ясени маньчжурского.

Из лесохозяйственных мероприятий следует рекомендовать проведение санитарных и добровольно-выборочных рубок. При добровольно-выборочных рубках может быть организована заготовка деловых стволов ясени маньчжурского.

Очистка мест рубок должна проводиться путем сбора порубочных остатков в кучи на микровозвышениях или сжиганием их в местах с густым подлеском и мощно развитым травяным покровом. Рубки можно проводить в течение всего года.

На основании всего сказанного о лесоводственных свойствах отдельных групп чернопихтовых лесов составлена табл. 1, в которой дана характеристика защитной роли и лесопромышленной ценности чернопихтарников и указаны основные виды рекомендуемых в них лесохозяйственных мероприятий. При составлении таблицы использованы принципы классификаций лесов по защитным свойствам и лесопромышленной ценности И. В. Тюрина [15] и Б. П. Колесникова [12].

Автор надеется, что предлагаемые им лесохозяйственные рекомендации позволят упорядочить ведение лесного хозяйства в чернопихтово-широколиственных лесах Южного Приморья и правильно использовать их защитные свойства в народном хозяйстве.

Дальневосточный филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
16/IX 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Я. Васильев, Лесные ассоциации Сунгитского заповедника Горно-таежной станции. Тр. ГИС ДВФАН СССР, т. II, Владивосток, 1938.
2. Я. Я. Васильев, Леса из цельнолистной пихты. Природа, № 9, 1938.
3. К. К. Выецкий, Заповедник «Кедровая падь». Вестн. ДВФАН СССР, № 14, Владивосток, 1935.
4. В. А. Иващенко, Типы леса Приморья и их экономическое значение. Производ. сил Дальнего Востока, II — Растит. мир, Хабаровск, 1927.
5. В. Л. Комаров, Южная граница маньчжурской флористической области. Тр. СФР о-ва естествоисп., т. 20, вып. 1, 1958.
6. В. Л. Комаров, Семейство. Основные. *Pinaceae* Lindl. Флора СССР, т. 1, Л., 1934.
7. И. П. Щербakov, Возобновление в основных типах лесов Южного Приморья, М., 1953.
8. А. Е. Волтер, Физико-механические свойства древесины пихты цельнолистной. Собр. ДВФАН СССР, вып. 1, Владивосток, 1950.
9. ГОСТ 4631—49, Показатели физико-механических свойств древесины, М., 1954.
10. Л. В. Любарский, Материалы по грибным болезням лесоразрушителям древесины в Южно-Уссурийском крае. Вестн. ДВФАН СССР, № 9, Владивосток, 1934.
11. А. И. Курячий, Вредные насекомые хвойных пород Приморского края. Тр. ДВФАН СССР, сер. зool., т. 1 (IV), Владивосток, 1950.
12. В. Н. Колесников, Кедровые леса Дальнего Востока. Тр. ДВФАН СССР, сер. ботан., т. II (IV), М.—Л., 1956.
13. В. А. Иващенко, Действительный лес, особенности его строения и развития. Лесн. хозяйство и лесн. промышленность, № 10, 11, 12, 1929.
14. В. А. Иващенко, Дальневосточные леса и их промышленная будущность, Хабаровск, 1933.
15. И. В. Тюрин, Опыт классификации лесных площадей подзащитной зоны по их водохраним-защитной роли. Сб. иссл. по лесн. хоз-ву, ВНИИЛХ, 9, М.—Л., 1949.

ХРОНИКА

XII ОТЧЕТНАЯ НАУЧНАЯ СЕССИЯ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО ФИЛИАЛА АН СССР

17—20 марта 1958 г. в Новосибирске состоялась XII отчетная научная сессия Западно-Сибирского филиала Академии наук СССР. В ее работе приняло участие более 600 представителей 76 научных, производственных, советских, партийных и других учреждений и организаций.

На сессии были представлены центральные институты АН СССР, академии наук Казахской и Киргизской ССР, Уральский и Восточно-Сибирский филиалы АН СССР и ряд других научных учреждений. Впервые в работе сессии филиала участвовали представители 5 союзных республик.

В соответствии с программой было проведено 2 пленарных заседания и 57 заседаний 15 секций.

На пленарном заседании был заслушан и широко обсужден доклад председателя Президиума Западно-Сибирского филиала АН СССР член-корр. АН СССР Г. Ф. Горбачева «Важнейшие итоги исследований институтов и отделов ЗСФАН СССР за 1957 г. и перспективы их развития на 1959—1965 гг.».

Докладчик указал, что в отчетном году из 72 плановых тем в было завершено разработкой. В числе законченных — такие многолетние исследования, как «Усовершенствование шитовой системы разработки мощных пластов Кузбасса с закалкой выработанного пространства» (руководитель — член-корр. АН СССР Н. А. Чинакал), «Биологические основы рационального использования пашенных и залежных земель в Западной Сибири» (руководитель — канд. с.-х. наук В. Н. Ковалев), «Вулканизм и тектоника девонских впадин Минусинского межгорного прогиба» (руководитель — канд. геол. наук Н. В. Луцкий), «Изучение спелых свойств углей и получение новых видов металлургического топлива» (руководитель — канд. техн. наук Д. М. Ли-син).

Завершенные работы открывают новые перспективы в разрешении ряда технических, геологических и биологических проблем.

Ценные результаты получены филиалом в 1957 г. и в процессе выполнения ряда переходных тем.

Положительные итоги получены сотрудниками филиала в процессе внедрения на производстве результатов ранее выполненных исследований. В Кузбассе все более широко применяются новые конструкции шитов для разработки крутонаклонных пластов угля; в ряде горных предприятий в различных районах страны признаны бу- рильный агрегат БА-100 и аппаратура высокочастотной связи «Сибирь»; на сибирских железных дорогах нашли применение новые конструкции снегозадерживающих шитов, разработанных Транспортно-Энергетическим институтом филиала, мощные механизмы вращающихся Транспортино-Энергетическим институтом филиала, построенные по многим изобретениям союзных Новосибирской области; усердно внедрялись и другие работы.

Планируя содержание перспективного плана научной работы филиала на 1959—1965 гг., докладчик указал, что в этот период будут производиться исследования 30 проблем, включающих 99 тем; по техническим наукам — 12 проблем (29 тем), биологическим — 8 проблем (21 тема), химическим — 3 проблемы (10 тем), геолого-географическим — 8 проблем (20 тем), физико-математическим — 3 проблемы (9 тем), экономическим — 2 проблемы (4 темы).

Планируемая проблематика предусматривает проведение глубоких теоретических исследований во всех основных разделах науки и одновременное разрешение ряда вопросов, имеющих большое значение для развития ведущих отраслей народного хозяйства Западной Сибири.

В связи с дальнейшим значительным расширением научной работы филиала предусматривается пополнение штата научных сотрудников, создание новых лабораторий и получение нового лабораторного оборудования.

В обсуждении отчетного доклада приняли участие 24 человека. На заседаниях секции было заслушано и обсуждено 193 научных доклада, из них 53 были сделаны работниками производства, вузов и НИИ.

Доклады на секционных заседаниях были посвящены рассмотрению актуальных вопросов из различных разделов техники, биологии, химии, математики и физики; комплексные вопросы гидрогеологии, гидрологии, биологии и санитарии обсуждались на заседаниях секции комплексных исследований водохранилища Новосибирской ГЭС.

Каждая секция приняла соответствующее решение по заслушанным докладам.

На заключительном пленарном заседании после выступлений участников сессии и доклада зам. председателя Президиума филиала канд. техн. наук М. М. Савкина «Итоги работы XII сессии ЗСФАН СССР» было принято развернутое решение сессии.

В решении сессии отмечено значительное повышение научной значимости и практической ценности проводимых в филиале исследований.

В деятельности филиала были отмечены и недостатки. К ним в первую очередь относится весьма ограниченный объем исследований в области геологии алюминиевых и титановых руд, систем разработок рудных месторождений, обогащения сложных по составу руд и углей, в области биохимии, биофизики и микробиологии и в некоторых других разделах науки и техники.

Все еще недостаточно широко в некоторых лабораториях филиала применяются новейшие методы исследований. Дальнейшего улучшения требует работа по координации научных исследований вузов, НИИ и производственных предприятий.

Для быстрого устранения имеющихся недостатков сессия рекомендовала укрепить ведущие направления в филиале; обратить особое внимание на сокращение сроков исследований и ускорение внедрения получаемых результатов на производстве; шире практиковать проведение научных совещаний по важнейшим отраслям науки, добиваясь, чтобы они явились важнейшей формой координации и кооперации в работе различных учреждений и организаций.

Участники сессии рекомендовали коллективу филиала оказывать максимальную помощь организуемым институтам Сибирского отделения АН СССР с тем, чтобы они могли в короткий срок развернуть исследовательскую работу в своих лабораториях.

Участники сессии выразили уверенность, что сотрудники филиала примут все необходимые меры к тому, чтобы быстрее реализовать постановления Партии и Правительства о строительстве научных учреждений АН СССР.

Б. В. Иванов.

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

ЦЕННЫЙ ВКЛАД В ИЗУЧЕНИЕ ЭКОНОМИКИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ЯКУТИИ

Издательством Академии наук выпущен сборник работ ЯФАН СССР по вопросам экономики и географии сельского хозяйства и промыслов Якутии.*

В 11 статьях сборника сельское хозяйство республики рассматривается преимущественно в аспекте его порайонных различий. Это дает возможность с наибольшей полнотой и конкретностью выявить его особенности и наметить перспективы дальнейшего развития. Статьи сборника содержат ряд важных научных выводов и практических рекомендаций, осуществление которых, несомненно, может дать большой экономический эффект.

Сборник открывается статьей О. С. Морозова «Производственная специализация колхозов Якутии». В ней сделана попытка выделения и характеристики зон (районов) сельскохозяйственной специализации, т. е. по существу, попытка сельскохозяйственного районирования Якутии.

Большая важность и вместе с тем сложность данной проблемы очевидна. Автор обработал и использовал большой первичный фактический материал, который сам по себе представляет научную ценность. Основные порайонные различия в сельском хозяйстве Якутии в статье показаны. Но попытку выделения зон нельзя считать удачной. Основной недостаток заключается в неправильном методе деления Якутии на зоны. Вначале автор без всякого экономического обоснования выделяет пять территориальных зон, затем, механически суммируя показатели в пределах зон, сравнивает их между собой и каждой дает характеристику. Такой прием возможен в описательных целях. В данном же случае нужно было доказать, что именно так, а не иначе разделяется Якутия на зоны. Автором приведена составленная им карта зон сельскохозяйственной специализации колхозов Якутии. Но по каким данным и как она составлена, остается неизвестным. В статье много громоздких трудно читаемых таблиц с большим количеством различных показателей специализации. Основным же показателем — товарная продукция — почему-то не использован.

В короткой, но содержательной статье Ф. И. Головных «Различия в условиях производства отдельных групп колхозов Мегино-Кангаласского района» исследуется зависимость специализации колхозов низового административного района от природных и экономических условий их развития. Автор выделяет две территориальные группы колхозов, различающихся по условиям производства. В одной из них наибольший эффект дает молочно-картофельно-овощное хозяйство, во второй — животноводческо-зерновое. Это обстоятельство недостаточно учитывается при планировании. В результате наблюдается несоответствие между условиями производства и специализацией.

Примененная автором методика анализа различий в условиях сельскохозяйственного производства оригинальна и может быть использована в других районах.

Остается лишь пожалеть, что автор, рассматривая влияние основных средств производства, не выясняет, что именно имеет наибольшее значение в местных конкретных условиях. Между тем, исследование этого вопроса могло бы привести к важным практическим выводам.

Во второй статье О. С. Морозова «Земельные фонды и землепользователи Центральной Якутии» дана обстоятельная характеристика сельскохозяйственных земель Центральной Якутии в целом и по отдельным районам. Хорошо показаны многоучастковость и мелкоучастковость колхозного землепользования и их недостатки. Автор дает агрономическую и климатическую оценку сельскохозяйственных земель в отдельных

* «Материалы по экономике сельского хозяйства Якутии». Тр. Якутского филиала АН СССР, серия эконом., вып. 1. Изд. АН СССР, М., 1957, 160 стр.

районах. Он стремится раскрыть специфику этих земель также посредством характеристики основных черт колхозного производства в выделенных им районах. В статье содержатся обоснованные практические рекомендации по размещению земельных угодий, освоению новых земель и др.

С некоторыми положениями, выдвигаемыми автором, нельзя, однако, согласиться. Вызывает возражение определение «природно-производственных типов территорий», под которыми «... подразумеваются территориальные единицы, совокупность природных условий которых определяет своеобразие их сельскохозяйственного использования, специфику организационно-хозяйственных, мелиоративных и агротехнических мероприятий» (стр. 31). Это определение недвусмысленно исходит из решающей роли природной среды в особенностях использования сельскохозяйственных земель. Что это не так, общеизвестно: одни и те же земли по-разному используются в различных социально-экономических и технико-экономических условиях сельскохозяйственного производства. Сельскохозяйственные земли классифицируются в статье только по природному признаку — в основном по их положению на элементах рельефа. Называются же выделенные группы земель почему-то «природно-производственными типами». Таким образом, искусственно объединяются совершенно различные понятия.

Неправильно также утверждение, что «сложившееся размещение пашен (в Центральной Якутии — Ф. Д.) является результатом или стихийного освоения новых земель, или ошибок планирования» (стр. 148). Как показано в следующей статье этого же сборника, сложившееся размещение пахотных земель имеет более глубокие исторические и социально-экономические корни.

К. П. Космачев в статье «Сельское хозяйство Лено-Амгинского междуречья» исследует колхозное производство важнейшего сельскохозяйственного района Якутии с экономико-географической точки зрения. Эта статья, составляющая около трети всего объема сборника, насыщена богатым и оригинальным фактическим материалом, включающим, наряду с архивными и ведомственными данными, и личные наблюдения автора. Она содержит интересные обобщения и практические выводы.

Выяснив, что сельское хозяйство междуречья специализируется на животноводстве якутского типа (разведение крупного рогатого скота и лошадей), автор основное внимание уделяет характеристике животноводства. Вместе с тем, достаточно подробно освещает он и другие отрасли колхозного производства: земледелие и пушное звероводство. Хорошо показывая современное состояние сельского хозяйства междуречья в связи с условиями его развития, статья в то же время направлена в будущее — на раскрытие перспектив дальнейшего развертывания колхозного производства.

Автор приходит к правильному выводу о том, что в наибольшей степени местным условиям соответствует специализация колхозов на высокопродуктивном животноводстве якутского типа. Земледелие должно играть вспомогательную роль. Между тем, вследствие шаблона в планировании земледелия до недавнего времени придавалось непомерно большое значение.

Статья не свободна и от недостатков. В ней не уделено должного внимания раскрытию внутренних территориальных различий в сельскохозяйственном производстве междуречья. Хотя автор и приводит ряд таблиц со статистическими показателями по административным районам, однако эти данные не получают необходимого объяснения.

Ответ на затрагиваемый в работе весьма важный вопрос о причинах перехода якутов к земледелию звучит неубедительно. Низкая продуктивность скотоводства, которой автор объясняет этот переход, сама нуждается в объяснении. В данном случае автор абстрагируется от социальных условий развития хозяйства якутов, а это неправильно.

Заслуживает одобрения постановка давно назревшего вопроса о необходимости создания и применения диспетчерских карт во второй краткой статье К. П. Космачева «О диспетчерских картах МТС Якутии». Экономический выигрыш от внедрения таких карт очевиден.

Статья И. К. Ефимова «О развитии сельского хозяйства в Алданском горнопромышленном районе» раскрывает особенности сельскохозяйственного производства в богатой ископаемыми ресурсами и весьма перспективной в отношении развития промышленности южной части Якутской АССР. На вполне достоверном свежем материале и несколько схематически, показаны основные черты природных условий и современное состояние сельского хозяйства Южной Якутии. Очень ценна попытка раскрыть перспективы развития сельского хозяйства данного района в связи с его дальнейшим промышленным освоением. Основные идеи автора о размещении сельскохозяйственных баз будущей промышленности заслуживают серьезного внимания. Следует, однако, отметить, что эти идеи не подкрепляются необходимыми сравнительными данными об издержках производства и себестоимости продукции. Где выгоднее выращивать картофель и овощи для Алданского и Чульманского промышленных узлов? Так как на этот вопрос не дан ответ, то рекомендации, содержащиеся в статье, как бы повисли в воздухе. Почему-то в качестве возможного района организации сельскохозяйственной базы не

названа чрезвычайно благоприятная в этом отношении долина р. Уркан. Не указана также возможность изменения специализации колхозов Сковородинского района и получения на этой основе значительной доли сельскохозяйственной продукции.

В статье имеются отдельные ошибочные утверждения. Так, неверно, что новые совхозы можно организовать в районе Рейново-Джаллинда. Там для этого нет необходимого фонда земель. Удельный вес Алдана в общесоюзной добыче золота не 10%, как указано в статье, а лишь 4—5%.

И. К. Ефимову принадлежит также небольшая статья на чрезвычайно актуальную тему: «Основные пути снабжения продуктами сельского хозяйства северо-восточных районов Якутской АССР». В ней, на фоне краткой, но выражающей все наиболее существенное, характеристики существующего сельскохозяйственного производства в Северо-Восточной Якутии показана степень обеспеченности населения местной продукцией и сделаны выводы о лучшей организации и размещении производства картофеля, овощей и молока для полного удовлетворения существующих потребностей. Как и в первой своей статье, автор, к сожалению, не обосновывает свои рекомендации сравнением себестоимости продукции в разных местах производства и стоимости перевозок. Вряд ли можно согласиться с утверждением, что «наиболее целесообразным было бы во всех промышленных и транспортных узлах горно-таежной части зоны создавать свои местные сельскохозяйственные базы» (стр. 123).

Статья Е. Д. Конникова «Колхозное производство бассейна р. Яны» служит как бы продолжением и конкретизацией рассмотренной выше работы Ефимова. В ней дано заслуживающее положительной оценки общее описание сельского хозяйства бассейна р. Яна, сделан вывод о необходимости изменения мясо-молочной специализации скотоводства колхозов на молочно-мясную. Вывод этот, однако, обоснован слабо и является скорее благим пожеланием автора, чем результатом всестороннего изучения вопроса. В частности, в статье совершенно не учитываются транспортные условия колхозов, традиции и производственные навыки населения. Недоказательно утверждение автора о преимуществах в данном районе коневодства и оленеводства сравнительно с разведением крупного рогатого скота.

Статья Г. В. Наумова «Сельское хозяйство бассейна р. Вилюя» сходна с рассмотренной выше работой К. П. Космачева по Лено-Амгинскому междуречью по полноте и доброкачественности фактического материала, раскрытию специфики района и обоснованности выводов. В статье выявляется роль бассейна р. Вилюй в хозяйстве Якутии, содержательно характеризуются его природные условия, отрасли сельского хозяйства. Намечены продуманные, вполне конкретные мероприятия по дальнейшему развитию сельскохозяйственного производства в данном районе в связи с созданием здесь алмазодобывающей промышленности. Практическое значение работы Г. В. Наумова, таким образом, трудно переоценить.

В статье дано сельскохозяйственное районирование бассейна р. Вилюй, что, безусловно, относится к ее достоинствам. Выделение районов, однако, произведено без обоснования, по словам автора — лишь для «облегчения ориентировки» (стр. 137). Отсутствие серьезного обоснования районирования как-то не вяжется со всем остальным содержанием статьи. Термин «природно-экономический район», которым пользуется автор для обозначения выделенных им территориальных частей, на наш взгляд, неудачен. В нем искусственно соединяются совершенно разнородные понятия.

В интересной статье Г. К. Коченых «Из опыта организации охотничьего промысла как отрасли общественного хозяйства колхозов Вилюйского района» на примере этого района основательно доказывается необходимость сосредоточения всего охотничьего промысла Центральной Якутии в колхозах.

Последняя статья сборника «Материалы к изучению рыбных запасов бассейна р. Вилюя», написанная В. С. Рыбниковым, несмотря на свой небольшой размер, серьезно освещает состояние рыбного хозяйства и рыболовства в бассейне Вилюя. Убедительно обосновываются перспективы развития рыбного промысла в этом районе. Целесообразность реализации рекомендаций автора в практической деятельности не вызывает сомнений.

В заключение сделаем несколько общих замечаний, касающихся всего сборника. Сильной стороной его является практическая направленность и актуальность статей, их богатство первичным фактическим материалом, подвергшимся обработке и обобщению. Существенный недостаток сборника заключается в некотором эмпиризме, в стремлении авторов уйти от вопросов теории. В частности, обнаруживается явная слабость в теории и методике сельскохозяйственного районирования. В статьях сборника часты случаи недостаточного продуманного отбора и использования статистических показателей. Иногда такие показатели вовсе не выражают сущности явлений (И. К. Ефимов, Е. Д. Конников, О. С. Морозов). Большинство статей в основной своей части базируется, главным образом, на статистических ведомственных материалах и страдает сухостью изложения. Казалось бы, кому, как не работникам Якутского филиала АН СССР, непосредственно соприкасающимся с изучаемыми явлениями, включать в свои исследования и личные наблюдения, которые имеют большое значение при изучении сельского хозяйства. Меж-

ду тем, материалы личных наблюдений обнаруживаются лишь в некоторых работах (К. П. Космачев, Г. В. Наумов, В. С. Рыбников).

В целом же сборник «Материалы по экономике сельского хозяйства Якутии» представляет научную и практическую ценность и является существенным вкладом в изучение Якутии.

Институт комплексных
транспортных проблем
Академии наук СССР

Ф. В. Дьяконов.

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
41	Табл. 5	s	S
82	Форм. (3)	$m' = 1 - (1 - m) \frac{2}{3}$	$m' = 1 - (1 - m) \frac{2}{3}$
82	Форм. (4)	$m' = 1 - 1,21(1 - m) \frac{2}{3}$	$m' = 1 - 1,21(1 - m) \frac{2}{3}$
104	Форм. (10)	$t_{всп} = \frac{2}{l} \int_0^{\frac{l}{2}} t_c \frac{\ln \frac{\xi}{\sqrt{b^2 + x^2}}}{\ln \frac{\xi}{r_0}} dx$	$t_{всп} = \frac{2}{l} \int_0^{\frac{l}{2}} t_c \frac{\ln \frac{\xi}{\sqrt{b^2 + x^2}}}{\ln \frac{\xi}{r_0}} dx$

Технический редактор Н. М. Потоцкая. Корректоры Р. Э. Вильнер и О. Д. Соколова.

МН 03062. Подписано к печати 21 апреля 1958 г. Тираж 1100. Заказ № 22. Формат бумаги 70×108/16
4,63 бум. л., 12,67 печ. л. + 5 вклеек, 13,7 изд. л.

Новосибирское книжное издательство. Красный проспект, 18. Типография № 1 Полиграфиздата.
Новосибирск, Красный проспект, 20. Цена 7 руб.

Цена 7 р.