П-952

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

ТРУДЫ ЛАБОРАТОРИИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

имени академика

Ф. П. САВАРЕНСКОГО

ТОМ

I

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

П-952

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ОТДЕЛЕНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ НАУК

ТРУДЫ ЛАБОРАТОРИИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

имени академика

Ф. П. САВАРЕНСКОГО

ТОМ.

I

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

1948.

Светлой памяти дорогого учителя и товарища,
основателя Лаборатории гидрогеологических проблем,
Федора Петровича САВАРЕНСКОГО
коллектив Лаборатории посвящает
первый том своих трудов

Академик
ФЕДОР ПЕТРОВИЧ САВАРЕНСКИЙ
(*1881 — 1946*)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Лаборатория гидрогеологических проблем Академии Наук СССР начинает выпуск своих трудов с освещения проблемы формирования подземных вод.

Эта проблема положена в основу работы Лаборатории как наиболее актуальная в современной теоретической гидрогеологии, разрешающая многие вопросы генезиса подземных вод, условия их метаморфизации, динамики, геологической деятельности и способствующая решению практических вопросов по использованию подземных вод и борьбе с их вредным влиянием.

До настоящего времени проблема формирования подземных вод не получила достаточного разрешения, хотя всегда правлекала внимание гидрогеологов и геологов. Корни ее далеко уходят в глубь истории, в древние и средние века. Еще до того как гидрогеология сформировалась в самостоятельную науку, в произведениях великого русского ученого М. В. Ломоносова в середине XVIII в. было обращено внимание на роль природных водных растворов в истории земли, на миграцию и круговорот солей и элементов в связи с круговоротом воды, химическую взаимосвязь подземной воды и горной породы, роль подземной воды в образовании и разрушении рудных месторождений. В трудах крупнейших русских натуралистов, участников Академических экспедиций, в конце XVIII в. также решались вопросы формирования подземных вод. Так П. С. Паллас рассматривал Урал и Алтай как области питания подземных вод Исетской, Киргизской, Барабинской степей; Н. П. Рычков писал о подземном потоке; П. С. Паллас, И. И. Лепехин и И. П. Фальк определяли связь между характером растительности и глубиной и качеством «подземельных» вод. Среди работ XIX в. следует упомянуть работы академика Г. В. Абиха — о происхождении теплых минеральных источников города Тбилиси, о зависимости стока реки Занги от подземного стока озера Севан, о получении артезианских вод в сухих степях Восточного Закавказья. С. Н. Никитин в конце XIX и начале XX в. в трудах «Экспедиции по исследованию источников главнейших рек России» уделял большое внимание истории, режиму и питанию подземных вод.

Наибольший интерес к вопросам формирования подземных вод в России проявляется в советский период. Это вполне естественно объясняется большим развитием гидрогеологических работ в связи с крупным промышленным и сельскохозяйственным строительством в нашей стране. Гидрогеологическая наука получила значительное количество фактов, послуживших основой для постановки многих вопросов, связанных с проблемой формирования вод. В качестве руководящих теоретических работ этого времени следует отметить работы В. И. Вернадского, А. Ф. Лебедева и Ф. П. Саваренского.

Однако проведенные исследования, несмотря на их многочисленность, касались лишь некоторых сторон проблемы формирования подземных вод или отделов гидрогеологии. Таким образом раздельно получили развитие динамика подземных вод, учение о минеральных водах, гидрохимия и др., но редко предпринимались попытки их обобщения, выяснения взаимосвязи между ними и взаимного влияния.

Недоучетом взаимосвязи процессов, участвующих в формировании подземных вод, можно объяснить искусственное деление подземных вод на пресные и минеральные, что привело к разработке различных методов их исследования. В области минеральных вод (особенно термальных) господствовали представления, близкие к ювенильной теории Зюсса, объясняющие формирование химического состава вод на весьма больших глубинах, близких к поясу залегания магмы. Пресные воды изучались преимущественно с точки зрения использования их для водоснабжения. Воды глубоких горизонтов, обычно обладающих высокой минерализацией, сравнительно недавно стали объектом исследований. Началом этого послужили работы геологов-нефтяников. Ими же была выдвинута идея о происхождении глубоких вод как о погребенных реликтовых морских водах, метаморфизованных в толще пород.

Динамика подземных вод развивалась, главным образом, в направлении исследования условий фильтрации воды в горных породах и притока воды к горным выработкам. Все этого рода исследования и расчеты касались преимущественно верхних слоев земной коры, т. е. зоны распространения пресных и слабо минерализованных вод. Динамика вод глубоких горизонтов по существу остается неизученной.

Лишь в последнее время выдвинута идея о вертикальной зональности подземных вод как в смысле условий их движения, так и химического состава. Устанавливаются сверху вниз три отличных между собой зоны: активного водообмена, затрудненного водообмена и застойного режима. Верхняя зона имеет мощность от поверхности земли до глубин местной эрозионной сети; она характеризуется распространением грунтовых безнапорных вод, преимущественно пресных или слабо минерализованных, чаще всего гидрокарбонатного типа (с преобладанием гидрокарбонатов, гораздо реже сульфатов или хлоридов), с относительно большими скоростями движения воды к дренажным системам.

Средняя зона имеет непостоянную мощность; она располагается между местной эрозионной сетью и уровнем моря и характеризуется меньшими скоростями движения воды, бóльшим напором и повышенной минерализацией воды, чаще всего гидрокарбонатно-сульфатного или сульфатного типов. Нижняя зона располагается ниже уровня моря; она характеризуется малыми скоростями движения воды, а местами застойным режимом, распространением вод высокой минерализации сульфатно-хлоридного и хлоридного типов и рассолов.

Эта общая схема, отражающая теперь современные представления многих гидрогеологов, не может считаться совершенной и нуждается в разработке и конкретизации, особенно в пределах нижней зоны, неоднородность которой доказана большим количеством фактов.

Гидрогеологическая наука выдвигает также много других вопросов, охватываемых проблемой формирования подземных вод, разрешение которых при современном состоянии науки возможно. В первую очередь выдвигаются следующие общие вопросы: взаимосвязь подземных вод с поверхностными водами, формирование подземного стока, геологическая деятельность подземных вод.

Связь подземных вод с поверхностными водами остается малоизученной, между тем она имеет большое значение при решении многих вопросов гидрогеологии и других наук. К наиболее актуальным вопросам из этой группы следует отнести грунтовое питание рек и поверхностное питание подземных вод, которые, несмотря на многократные попытки, не имеют достаточно обоснованных количественных выражений, а механизм этих процессов не исследован. Полученные Лабораторией первые отправные данные по этим вопросам и по химической денудации (химический вынос) для верховьев рек Волги, Оки и Москвы должны быть продолжены изучением на бассейнах крупных рек.

Подземный сток в гидрогеологии изучался преимущественно для зоны грунтовых вод и на ограниченных участках, в связи с запросами практики. Изучение подземного стока более глубоких горизонтов земной коры в гидрогеологии не проводилось. Однако выяснение этого процесса имеет исключительное значение для познания условий формирования подземных вод и их истории от областей питания до областей разгрузки. Здесь должны разрабатываться вопросы движения подземных вод в земной коре, распределения подземного стока на территории СССР, количественных и качественных изменений водных масс и баланса.

В разделе геологической деятельности подземных вод рассматривается взаимодействие подземных вод с вмещающими породами, главным образом в зоне выветривания. В первой группе вопросов должны исследоваться процессы прямого растворения и разложения пород под влиянием воды (карстовые процессы), процессы формирования минеральных новообразований, изменение состава воды. Во второй

группе вопросов исследованию подлежат процессы взаимодействия связанной воды и породы (в глинистых породах, илах и др.). В процессах сжатия и разбухания, в процессах диффузии и др., имеющих место в земной коре, связанная вода оказывает существенное влияние на количество и качество свободной воды в земной коре. Без учета этого важного фактора изучение качества и баланса подземных вод будет недостаточным.

Лабораторией проводятся исследования условий формирования подземных вод, их стока и геологической деятельности по отдельным гидрогеологическим регионам, с анализом геологической их истории (палеогидрогеологии), общего генезиса, ресурсов и закономерностей распространения на территории СССР.

В первом томе трудов рассматриваются не все затронутые темы, а лишь некоторые из них. Однако основные вопросы проблемы формирования вод включены в план работы Лаборатории, и результаты будут помещаться в следующих выпусках.

В. А. ПРИКЛОНСКИЙ

ЖИЗНЬ И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АКАДЕМИКА Ф. П. САВАРЕНСКОГО

(*1881—1946*)

В кратком сообщении нельзя подробно осветить многогранную и разностороннюю деятельность Федора Петровича Саваренского, столь много сделавшего для развития гидрогеологии и инженерной геологии в СССР. Можно лишь вкратце наметить круг его научных интересов и основные этапы его жизненного пути.

I

Федор Петрович Саваренский был прежде всего глубоким исследователем природы, вдумчивым натуралистом Докучаевской школы, постоянно стремившимся к глубокому и всестороннему исследованию интересовавших его природных явлений во всей сложности их возникновения, развития и взаимодействия друг с другом.

Характерной чертой Федора Петровича как ученого-естествоиспытателя была широта его научных интересов. Начав свою научную работу с изучения почв, он вскоре переходит к тогда еще малоразработанным вопросам гидрогеологии, а затем к новым и сложным вопросам только еще нарождавшейся тогда, в связи с потребностями социалистического народного хозяйства, инженерной геологии, основоположником и руководителем которой Федор Петрович и явился в нашей стране. Глубоко и всесторонне изучая природные явления, находя и исследуя управляющие ими законы, он тотчас же стремился найти пути и способы овладения этими явлениями и изменения их в практических целях.

Эта теснейшая связь науки и практики является второй характерной чертой деятельности Ф. П. Саваренского как советского ученого, неизменно проводившего свою научную работу, исходя из практических запросов быстро развивавшегося социалистического хозяйства. Горячий патриот своей родины, Федор Петрович не замыкался в области чистой науки и всегда рассматривал свою научную работу с точки зрения полезности ее для решения тех или иных практических вопросов. Хорошо известно, какую огромную роль неизменно играл он в экспертизах крупнейших строек нашей страны, как его участие всегда обеспечивало наиболее простое и целесообразное разрешение подчас весьма сложных и трудных вопросов. Часто приходилось слышать, как после окончания крупной экспертизы или консультации Федор Петрович,

хотя и утомленный, с удовлетворением говорил: «Вот и прекрасно, удалось, как будто, разрешить еще одну практическую задачу, помочь решению еще одного практического вопроса».

Ф. П. Саваренский ясно представлял, как много может дать правильно организованная коллективная работа, постоянный взаимный обмен опытом, широкое обсуждение результатов научных исследований. Отсюда — его постоянное стремление помочь такому обсуждению, организовать взаимный обмен опытом. Хорошо известна его инициатива и активное участие в созыве и проведении разнообразных съездов и конференций по вопросам гидрогеологии и инженерной геологии, его стремление быстрее опубликовывать результаты оригинальных работ и исследований.

В связи с этим Федор Петрович придавал огромное значение развертыванию работы научно-общественных организаций и сам принимал постоянное горячее участие в работе таких организаций: еще в дореволюционное время в Тульском обществе любителей естествознания, где он был его председателем, а после Октябрьской революции — в Обществе испытателей природы и Научно-техническом горном обществе, где он являлся председателем Бюро Гидрогеологической секции.

Стремление сплотить советских гидрогеологов и инженеров-геологов и обеспечить дружную коллективную работу является третьей характерной чертой Ф. П. Саваренского, ученого-общественника, организовавшего и помогавшего развитию коллективной работы среди гидрогеологов Советского Союза.

Огромное значение придавал Федор Петрович воспитанию и подготовке новых молодых кадров высококвалифицированных советских специалистов. Отсюда — его непрерывная работа на педагогическом поприще, сначала в качестве учителя физики в Тульской женской гимназии, а затем в вузах и втузах Саратова и Москвы. Здесь, в Московском геолого-разведочном институте им. С. Орджоникидзе, в 1934 г. Ф. П. Саваренский создает первую в мире кафедру инженерной геологии и начинает чтение первого в истории высшего образования курса инженерной геологии, целиком построенного на примерах из богатейшей практики социалистического строительства. В своих лекциях, излагавшихся неизменно простым и понятным языком, он стремился привить своим слушателям любовь к научным исследованиям, серьезное и вдумчивое отношение к изучаемым вопросам, широкий естественно-исторический подход к объяснению наблюдаемых фактов и явлений. Федор Петрович стремился развить в молодежи инициативу и самостоятельность в научной работе, оригинальность в постановке и решении задач, уменье обобщать факты и наблюдения, делать из них правильные научные и практические выводы. Руководя дипломным проектированием, он требовал от студентов оригинального решения хотя бы отдельных небольших вопросов, ценя в них стремление по-новому подойти к решению поставленной перед ними задачи, внести, пусть небольшое, но свое усовершенствование в методику работ или аппаратуру. «Скучно, неинтересно»,— приходилось слышать от Федора Петровича, если дипломный проект удовлетворял всем формальным требованиям, но не обнаруживал стремления внести что-нибудь новое, свое, оригинальное. Большое внимание уделял он также подготовке научной смены. Всю свою жизнь он был окружен молодежью — аспирантами, докторантами и учениками, для бесед с которыми у него всегда находилось время и в служебной обстановке и дома. Характерной чертой Ф. П. Саваренского, воспитателя и руководителя молодых научных кадров, было предоставление им широкой самостоятельности и инициативы в выборе тем и их разработке. Он был далек от мысли заранее навязывать своим ученикам определенную точку зрения. Заботливо наблюдая за их научным ростом, он умело направлял и, в случае надобности, выправлял их работу, предостерегая от неправильных шагов и поспешных выводов. Этим объясняются исключительное разнообразие и оригинальность тем, разрабатывавшихся его учениками в соответствии с их индивидуальными научными интересами и склонностями. Вместе с тем Федор Петрович тщательно наблюдал, чтобы в результате работы над диссертацией были получены не только строго обоснованные научные обобщения, но и практические выводы, в той или иной мере помогавшие решению практических задач.

Таков был Ф. П. Саваренский — глубокий и разносторонний исследователь природы, советский ученый-общественник, воспитатель и руководитель новых советских специалистов, горячий патриот своей Родины.

II

Свою научную работу Ф. П. Саваренский начал еще будучи студентом-естественником Московского университета. В 1907 г. он печатает свою первую работу «Об атмосферной пыли, выпавшей в окрестностях г. Калуги».

По окончании университета (1909 г.) Федор Петрович пять лет своей научной и практической деятельности посвящает почвенным исследованиям сначала в б. Тульской, а затем в б. Черниговской губерниях. Это было время, когда глубокие идеи Докучаева — основоположника нового генетического почвоведения, крупнейшего русского исследователя-натуралиста, широко распространились и в России и за рубежом. Используя и применяя идеи Докучаева в своих исследованиях, Федор Петрович неизменно подходит к объяснению наблюдавшихся им явлений с широкой естественно-исторической точки зрения, характеризующей всю его работу в дальнейшем.

В 1915 г. Ф. П. Саваренский начинает ближе интересоваться одним из важнейших факторов почвообразования — грунтовыми водами, а затем и вообще подземными водами. Он начинает работу во 2-й Поволжской изыскательской партии в качестве гидрогеолога, а затем — начальника партии. В этот период он проводит большую работу по изучению грунтовых вод в засушливых степных районах южного Заволжья, обращая особое внимание на условия образования и передвижения грунтовых вод, их связь с рельефом и микрорельефом степи. Эти работы положили, по существу, начало проблеме изучения формирования подземных вод в их тесной связи с поверхностными водами, являющейся сейчас основной ведущей проблемой современной гидрогеологии. В результате проведенных исследований появляется работа Ф. П. Саваренского, освещающая роль лиманов — плоских понижений — в формировании грунтовых вод Заволжских степей, и ряд других.

В этот же период начинается и педагогическая работа Ф. П. Саваренского в высшей школе. В 1920 г. он читает курс гидрогеологии в Саратовском сельскохозяйственном институте, а в 1921 г.— курс динамической геологии в Саратовском университете.

В 1922 г. Федор Петрович переезжает в Москву и вскоре начинает работу в Геологическом комитете в качестве геолога. С этого времени на протяжении многих лет, вплоть до последних дней своей жизни, он принимает активное участие в работе центральных геологических учреждений Советского Союза — Геологического Комитета, Главного Геологического Управления (ГГРУ), Комитета по делам геологии при СНК СССР и Министерства геологии СССР. Трудно оценить ту огромную роль, которую сыграл Ф. П. Саваренский в развитии и правильной постановке гидрогеологических и инженерно-геологических исследований в нашей стране. Составление и просмотр планов и программ работ, составление и редактирование инструкций и методических руководств, участие в съездах, конференциях и совещаниях, помощь и консультация работ территориальных геологических управлений, личное участие в проработке отдельных научных тем и вопросов — вот те многообразные формы участия, которые использовались Федором Петровичем для помощи развитию гидрогеологии и инженерной геологии в системе Геологической службы СССР.

В период 1925—1930 гг. он принимает активное участие в комплексных работах, начавшихся по постановлению Совета труда и обороны в Закавказье, в связи с реконструкцией и расширением хлопководства. Федор Петрович организует и возглавляет гидрогеологические исследования в засушливых полупустынных степях Восточного Закавказья, а позднее — во всем Кура-Араксинском бассейне. К выполнению этих работ он привлекает группу оканчивающих студентов Московской горной академии, в том числе и автора настоящего очерка. Помню, как я сначала колебался дать согласие на предложение Федора Петровича об участии в этих работах: круг интересов студентов-разведчиков Московской горной академии, даже с гидрогеологическим уклоном, был тогда слишком еще далек от характера намечавшихся Федором Петровичем исследований грунтовых вод в мелиоративных целях. Однако после беседы с Федором Петровичем я был увлечен нарисованной им широкой перспективой предстоящих работ в почти тогда неизученной геологически области и рядом глубоких проблем, поставленных им в связи с этими исследованиями, в частности — проблемой засоления грунтовых вод и почв, и дал свое согласие на участие в этих работах. Так началась моя многолетняя, вплоть до последних дней его жизни, совместная работа с Ф. П. Саваренским.

К исследованиям в Закавказье Федор Петрович подошел со свойственной ему широтой ученого-естествоиспытателя. Составленная им обширная программа в качестве основных вопросов включала изучение: источников питания и путей расхода грунтовых вод, их режима, источников, процессов и характера засоления грунтовых вод, гидрогеологических свойств пород в связи с динамикой их засоления и рассоления, роли поверхностных вод — речных и оросительных — в режиме и балансе грунтовых вод, влияния на них Каспийского моря, в связи с сильными колебаниями его уровня в недавнем прошлом, и ряд других.

Наметив основные вопросы со свойственной ему ясностью и определенностью и дав общее направление работам, Федор Петрович предоставил нам, его молодым сотрудникам, полную самостоятельность в проведении работ, не вмешиваясь в оперативное руководство. В этом сказалась характерная черта Ф. П. Саваренского — смелое выдвижение

молодежи на ответственную работу, поручение начинающим специалистам решения серьезных задач, оставляя за собой лишь общее руководство.

Федор Петрович рекомендовал нам прежде всего стараться выяснить основные естественно-исторические закономерности изучаемого района, определяющие его гидрологический облик и гидрогеологические особенности. При таком комплексном подходе создавалась возможность широкого обобщения немногочисленных и казавшихся иногда разрозненными фактов и наблюдений, прогноза условий в малоизученных частях района и смелого закрашивания белых мест на составлявшихся гидрогеологических картах. Наши исследования носили схематический, часто рекогносцировочный характер. Тем не менее, руководствуясь указаниями Ф. П. Саваренского, нам удалось за сравнительно короткий срок, в трудных для работы природных условиях, наметить основные черты гидрогеологии обширной низменности Восточного Закавказья и связать их с другими природными особенностями ее — климатом, почвами, растительностью, геоморфологией и геологическим строением. В частности, мною были впервые намечены гидрохимические провинции и сделана попытка объяснить установленную зональность в химическом составе вод с генетической точки зрения. Впоследствии, посещая Закавказье, мне приходилось знакомиться с позднейшими, более детальными исследованиями в отдельных частях изученного нами района. Можно с удовлетворением констатировать, что данные позднейших исследований не меняли нарисованной нами картины, лишь дополняя и уточняя ее.

В связи с этим интересно напомнить, что такие же схематические, часто маршрутные почвенные исследования, проведенные в том же Восточном Закавказье В. В. Докучаевым еще в 1898—1899 гг., также позволили ему наметить основные закономерности почвенного покрова этой обширной и совершенно неизученной еще тогда территории. Им был установлен, в частности, закон вертикальной зональности почв. Известно, что последующие почвенные исследования лишь уточняли и детализировали нарисованную В. В. Докучаевым картину.

Попутно с региональными исследованиями Ф. П. Саваренский ставил и решал специальные вопросы, возникавшие в ходе работ. Так, им были проведены специальные лабораторные исследования динамики гранулометрического состава засоленных глинистых грунтов, что осветило вопрос о поведении их при орошении.

Наряду с гидрогеологическими исследованиями перед гидрогеологическим отделом Комиссии Совета труда и обороны по обследованию Закавказья были поставлены новые сложные вопросы оценки мест под намечавшиеся плотины и водохранилища. Федор Петрович смело берется за разрешение новых и трудных задач, лично осматривая все наиболее сложные и неясные участки. Так началась деятельность его в новой области инженерной геологии, давшая столь плодотворные результаты и приведшая к быстрому и успешному развитию новой отрасли геологии в СССР. В инженерную геологию он внес свойственный ему широкий подход ученого-натуралиста, одновременно стараясь конкретизировать выводы применительно к практическим требованиям. В отличие от геологов прежнего времени, Федор Петрович не уклонялся от рекомендаций инженерно-строительного характера, имевших целью изменить ход природных процессов, угрожавших целости проектируемых или уже возведенных сооружений. Это создало Ф. П. Саваренскому

широкую известность и заслуженную репутацию среди инженеров-строителей, консультировавшихся с ним по всем сложным вопросам, возникавшим в процессе проектирования и строительства крупнейших сооружений в нашей стране.

Ф. П. Саваренский один из первых русских геологов основательно ознакомился с возникшей в это время новой отраслью строительной механики — механикой рыхлых горных пород, получившей название механики грунтов. Однако это не заставило его сойти с позиций естествоиспытателя-натуралиста. В последующий период некоторого увлечения схематизированными положениями механики грунтов, рассматривавшей, по существу, не конкретные горные породы, а модели их, он неизменно указывал на необходимость, при применении методов и приемов механики грунтов, учитывать прежде всего общую природную, в частности геологическую обстановку изучаемого участка. Инженерную геологию он ясно и отчетливо определял как «отрасль геологии, трактующую вопросы приложения геологии к инженерно-строительному делу». Он указывал, что задачей инженерной геологии является «изучать геологические процессы и физико-технические свойства горных пород, определяющие условия возведения сооружений и направление инженерно-геологических мероприятий по обеспечению устойчивости естественных земляных масс». Он указывал, в связи с этим, что специалист в области инженерной геологии должен быть прежде всего настоящим геологом, умеющим наблюдать и изучать природные процессы и истолковывать их. Вместе с тем инженер-геолог должен уметь оценивать природную геологическую обстановку применительно к специальным требованиям строительства, сознательно используя для этого приемы и методы, разработанные механикой грунтов. Федор Петрович как-то с возмущением рассказывал, как один молодой инженер-геолог в разговоре с ним заметил, что изучение природной геологической обстановки — дело не его, инженера-геолога, а «чистого» геолога-съемщика. «Инженер-геолог, чуждающийся геологии, ничего не стоит; никакой пользы от него быть не может»,— говорил Федор Петрович.

III

Десятилетие великой перестройки народного хозяйства в нашей стране — 1930—1940 гг.— было самым плодотворным временем в жизни Ф. П. Саваренского. Развернувшееся выполнение грандиозных планов второй и третьей сталинских пятилеток предъявило советской гидрогеологии и инженерной геологии огромные требования. Строительство новых городов, крупнейших промышленных комбинатов, совхозов и колхозов прежде всего со всей остротой поставило вопрос об их водоснабжении питьевой и технической водой. Наряду с поверхностными водами, необходимо стало значительно шире поставить использование подземных вод, особенно в маловодных засушливых районах СССР. Грандиозный план электрификации страны, ирригационное строительство и реконструкция водных путей сообщения поставили в порядок дня проектирование и осуществление крупнейших плотин и водохранилищ. Промышленное, гражданское и железнодорожное строительство выдвинули трудные и сложные вопросы изучения условий устойчивости проектируемых сооружений и прогноза изменения естественной обстановки под влиянием искусственных мероприятий. Общее планирование народного хозяйства требовало обобщенной порайонной естественно-исторической

характеристики территории Союза, в частности в отношении возможных для использования ресурсов подземных вод и условий обводненности горных выработок.

Ф. П. Саваренский принял самое активное участие в разрешении всех этих сложных и трудных проблем. Он указывал, что многие из этих проблем у нас ставятся значительно шире, чем в капиталистических странах, вследствие особого подхода к их разрешению в условиях советского строя, в интересах всего народного хозяйства, а не в интересах частного капитала.

Разработка теоретических основ гидрогеологии и инженерной геологии, составление и издание капитальных руководств по инженерной геологии и гидрогеологии, выдержавших несколько изданий и являющихся настольными руководствами советских гидрогеологов и инженеров-геологов, составление и издание ряда справочников и методических инструкций, сводок и обзоров по отдельным актуальным вопросам гидрогеологии и инженерной геологии, активное участие в работе съездов, конференций, в ответственных экспертизах крупнейших строек нашей страны, чтение лекций в Московском геолого-разведочном институте им. С. Орджоникидзе, работа по подготовке молодых научных кадров, организация Отдела гидрогеологии и инженерной геологии в Геологическом институте Академии Наук в 1935 г., сейчас преобразованного в Лабораторию гидрогеологических проблем имени Ф. П. Саваренского, и общее развитие гидрогеологической и инженерно-геологической работы в Союзе — это только краткий перечень работы Федора Петровича, который дает достаточное представление об огромном вкладе, внесенном им за эти десять лет в советскую науку и советскую практику.

Формулируя общие задачи инженерной геологии в связи с открытием отдела инженерной геологии и гидрогеологии в Геологическом институте Академии Наук, Федор Петрович писал: «Перед инженерной геологией стоит задача устранить разрыв между геологией и механикой грунтов и, с одной стороны, приблизить механическое исследование горных пород к действительным природным условиям, а с другой стороны — использовать методику механики грунтов для объяснения некоторых геологических явлений и свойств пород».

Ту же мысль высказывал Ф. П. Саваренский и на XVII сессии Международного геологического конгресса в своем докладе: «Успехи инженерной геологии в СССР» (1937 г.): «За последнее десятилетие инженерная геология в СССР обогатилась большим практическим опытом. В настоящее время нас занимают теоретические вопросы и, в частности, применение методов механики грунтов к объяснению многих геологических явлений, для чего, по нашему мнению, настало время».

В качестве основной научной проблемы в области инженерной геологии Ф. П. Саваренский выдвинул изучение физико-технических свойств горных пород, преимущественно осадочных, в естественной обстановке их залегания и в аспекте их геологической истории. «Изучение инженерно-геологических свойств горных пород, особенно осадочных,— писал Федор Петрович,— является целой проблемой, имеющей большой и захватывающий научный интерес и не меньшее практическое значение в эпоху развертывания строительства в СССР». Вот почему эта проблема и была включена в план работ Геологического института с первого же года существования в нем отдела инженерной геологии и

гидрогеологии. Среди отдельных задач этой проблемы Федор Петрович указывал такие, как изучение роли естественной структуры глинистых пород в их физико-технических свойствах, изучение условий формирования этих свойств в общем процессе диагенеза и эпигенеза осадочных пород в коре выветривания, и ряд других такого же характера.

В области гидрогеологии Ф. П. Саваренский выдвигал, в качестве первоочередной и практически важной проблемы,— изучение движения подземных вод в неоднородных пластах, требовавшее применения положений гидравлики к реальной гидрогеологической обстановке. Позднее, в Лаборатории гидрогеологических проблем, он выдвинул более широкую проблему формирования подземной воды в земной коре с изучением, в частности, связи ее с поверхностными водами.

В 1933 г. под редакцией и при непосредственном личном участии Федора Петровича выходит первая в Союзе сводка по ресурсам подземных вод, подготовленная для Госплана СССР,— «Материалы для характеристики ресурсов подземных вод по районам СССР». Сводка включала 28 отдельных очерков и специальные таблицы, составленные Ф. П. Саваренским.

Годом раньше, еще в 1932 г., вышло первое издание первого русского капитального труда по гидрогеологии, составленного Федором Петровичем в отличие от зарубежных руководств применительно к природным условиям Союза. Книга была переиздана в 1935 г. и в 1939 г., но сейчас опять является библиографической редкостью. Во введении к книге Ф. П. Саваренский вновь отмечает, что от гидрогеолога требуется основательная естественно-историческая подготовка и что изучение гидрогеологических условий невозможно без знания геологии района. Вместе с тем он подчеркивает: «Гидрогеология тесно связана с различными отраслями народного хозяйства: водоснабжением, мелиорацией, гидротехническим строительством и пр., которые определяют направление данной научной дисциплины и дают материал для ее развития».

В 1937 г. выходит в свет второй капитальный труд Ф. П. Саваренского — его «Инженерная геология». Переизданная в 1939 г., эта книга, подобно «Гидрогеологии», также имела большой успех.

В «Инженерной геологии» Ф. П. Саваренский последовательно проводит свою точку зрения на инженерную геологию, как на специализированную отрасль геологических наук. Как и «Гидрогеология», «Инженерная геология» целиком построена на отечественных примерах и дает богатейший материал по характеристике условий строительства на огромной территории СССР.

Для обобщения и сжатого изложения этого материала Федором Петровичем была проделана огромная работа в весьма короткий срок и наряду с выполнением им других обязанностей. Занимаясь инженерно-геологическими вопросами, он в этот период разрабатывает свою классификацию горных пород с инженерно-геологической точки зрения, классификацию оползневых явлений с выделением, в частности, консеквентных, асеквентных и инсеквентных оползней, что имеет большое практическое значение; ставит специальные исследования по изучению природы физико-технических свойств пород, в особенности пород глинистых, наиболее сложных по своим свойствам и наименее изученных; в частности, он по-новому освещает вопрос о внутреннем трении и сцеплении в этих породах, рекомендуя свой оригинальный метод определения соответствующих показателей.

Как широко понимал Ф. П. Саваренский инженерную геологию и как глубоко ставил он вопросы, требовавшие разрешения для обеспечения устойчивости проектируемых сооружений, видно из его статьи, опубликованной еще в 1934 г. в «Проблемах Советской геологии» (№ 10) — «Проблемы геологии в проектах реконструкции Волги».

Указывая, что в связи с реконструкцией Волги перед геологией стоит двойная задача: 1) выбрать и изучить на научных основах места возведения сооружений и 2) дать прогноз изменений природных условий, как следствия вмешательства человека в ход природных процессов, Ф. П. Саваренский точно и конкретно формулирует по каждому из намеченных для строительства участков долины р. Волги ряд главнейших вопросов, подлежащих разрешению. Так, например, для Балахнинского района он указывал на необходимость разъяснения природы интенсивных дислокаций пермских отложений, для Самарской Луки — выяснение природы Жигулевской дислокации и условий фильтрации через луку. Для всей долины Волги он ставил вопрос изучения истории ее формирования, переработки берегов при новом уровне воды, вопросы подтопления и затопления и др.

Ф. П. Саваренский принимал активное участие в реконструкции г. Москвы, в частности в решении трудных и сложных вопросов, возникших при строительстве метрополитена, Дворца Советов, новых мостов через р. Москву, канала Волга—Москва и других крупных строек, осуществлявшихся по плану генеральной реконструкции столицы. Он вел большую работу в созданной в системе Академии Наук СССР специальной комиссии по содействию реконструкции Москвы, принимал активное участие в специальном совещании, созванном этой комиссией, руководил составлением и изданием специального сборника статей, посвященных вопросам геологии в реконструкции Москвы.

IV

Война нарушила нормальный ход жизни в стране, заставив всех советских людей отдать свои силы на борьбу с вторгшимся врагом. Будучи в эвакуации в Казани, Ф. П. Саваренский уже с пошатнувшимся здоровьем ведет там не меньшую по объему работу оборонного характера, за что получает ряд правительственных наград.

В послевоенный период Федор Петрович снова возвращается к прерванной войной работе, сосредоточив ее в основном в Академии Наук СССР в качестве директора Лаборатории гидрогеологических проблем и председателя Водно-хозяйственной секции Технического отделения Академии. В 1943 г. Ф. П. Саваренский избирается действительным членом Академии Наук СССР, явившись первым в ее истории академиком-гидрогеологом.

Он добивается утверждения при возглавляемой им Лаборатории большой группы аспирантов и докторантов, разрабатывающих под его руководством актуальные вопросы в области гидрогеологии и инженерной геологии. Основными проблемами попрежнему являются вопросы формирования подземных вод и вопросы формирования физико-технических свойств осадочных горных пород.

Наряду с интенсивной научной работой Федор Петрович продолжает, несмотря на ухудшившееся здоровье, активно участвовать в разрешении ряда практических вопросов. Так, уже в последние месяцы своей

жизни, летом 1946 г., он возглавлял одну весьма ответственную комиссию по вопросам оползневых явлений на Черноморском побережье.

Правительство высоко оценило плодотворную долголетнюю деятельность Ф. П. Саваренского, наградив его орденами Ленина, Трудового Красного Знамени и медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне».

Федор Петрович, до последних дней продолжавший работу на своем ответственном и трудном посту руководителя советской гидрогеологии и инженерной геологии, первого академика-гидрогеолога, активного участника великих работ по восстановлению разрушенного войной хозяйства, ушел от нас.

Можно быть уверенным, что дело, так успешно начатое Ф. П. Саваренским по созданию советской гидрогеологии и инженерной геологии, не умрет вместе с ним. Многочисленная армия советских гидрогеологов и инженеров-геологов, бо́льшая часть которых в той или иной мере является учениками Федора Петровича, будет продолжать его дело, имея всегда перед собой образ своего учителя и руководителя, советского ученого, горячего патриота, чуткого воспитателя молодежи, прекрасного отзывчивого человека — академика Федора Петровича Саваренского.

Ф. П. САВАРЕНСКИЙ

НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ ПО ХИМИЧЕСКОЙ ДЕНУДАЦИИ В ВЕРХОВЬЯХ РЕК ВОЛГИ, МОСКВЫ И ОКИ

Связь подземных вод с поверхностным стоком остается неизученной, между тем она имеет исключительное значение в решении разнообразных вопросов гидрологии (питание рек и водоносных горизонтов, качество вод), водного хозяйства (водоснабжение, ирригация и пр.), геологии и геохимии (выщелачивание и вынос минеральных веществ, карст и отложение в зоне цементации) и пр.

Для решения этих задач намечаются следующие работы:

1. Сбор материалов по химическим анализам вод — подземных и речных.

2. Сопоставление анализов подземных и поверхностных вод по бассейнам. Сопоставление состава речных вод с условиями питания и расходами рек.

3. Изучение химического модуля стока. Распределение его по территории СССР и в сопоставлении с климатическими условиями, нормами стока, геологическим строением и гидрогеологическими условиями.

4. Изучение явлений засоления и рассоления вод — подземных и поверхностных. Карст, распределение его в связи с геологическим строением, климатическими условиями и речным стоком.

5. Определение значения изучаемых сопоставлений в гидрологии, водном хозяйстве, геологии и геохимии.

В 1944 г. намечалось выполнить первые два раздела этих работ, остальные же (3, 4 и 5) предполагалось осуществить в дальнейшем.

Состав Лаборатории сформировался только в середине 1944 г. Поэтому в 1944 г. удалось по существу только приступить к работе по данной интересной, но очень трудоемкой теме.

Для этого прежде всего надо было организовать сбор материалов по гидрологии и гидрохимии, которые у нас рассеяны между различными учреждениями и лицами. Особенно неблагополучно обстоит дело с гидрохимическими материалами. Анализы воды, как известно, исполняются главным образом для качественной оценки питьевых вод и отчасти для оценки технических свойств воды. При этом определению подлежат только наиболее существенные по их содержанию ингредиенты, а также вещества, определяющие санитарное состояние вод (соединения азота, органические вещества, железо и др.). Минеральные вещества, находящиеся в растворе в меньших количествах и тем более редкие, равно как и газовые составляющие не определяются. Таким образом для сравнения исследуемых вод мы с самого начала ограничены в нашей теме выбором материала. Вторым ограничением является невысокое качество

произведенных анализов. Все это затрудняло пользование этим материалом для наших обобщений.

Существенным затруднением в нашей работе является также низкое качество гидрогеологических материалов, ибо точность первичных гидрометрических измерений расходов, как известно, ограничена методами измерений и точностью приборов, а точность вторичных пересчетных данных, конечно, еще более страдает в зависимости от привходящих обстоятельств, которые остаются недостаточно учтенными.

Только исходя из той мысли, что при всех отмеченных недостатках исходных материалов мы все же можем получить правильное представление о порядке цифр и направлении процессов, которые выясняются из сопоставления этих цифр, мы решили приступить к этой трудоемкой и неблагодарной работе.

Из гидрологических данных, в частности из данных о расходах рек, нам надо было получить средство для расчленения гидрографа на ту часть, которая является продуктом поверхностного стока со склонов талых снеговых или дождевых вод, и ту, где рассматриваются воды, которые притекают в реку из недр, за счет подземных вод. Вопрос этот в гидрологии далеко еще не разработан и требует изучения. В данном случае этому вопросу посвящается та часть работы, которая выполнена в Секции водного хозяйства Академии Наук СССР Б. В. Поляковым.

Для рассмотрения характера подземного стока были взяты данные химических анализов воды верхнего течения рек Волги, Оки и Москвы за вторую половину 1914 г. и в начале 1915 г. Поводом к такому выбору послужили следующие соображения.

Для этого района имеются гидрохимические данные, полученные при исследовании верхних течений рек, в целях выбора источника для водоснабжения г. Москвы, особой комиссией по изысканию новых источников водоснабжения г. Москвы. Анализы были проделаны для одновременно взятых проб воды из Волги, Оки и Москвы. Пробы брались два раза в месяц. Полные определения главных составляющих — кальция, магния, углекислоты, серной кислоты, хлора и плотного остатка — имелись не для всех месяцев. Наиболее последовательно были выполнены анализы для периода меженного стока, начиная с 15 VIII 1914 г. и по 20 II 1915 г. Наступивший в конце февраля 1915 г. паводок заставил прекратить наблюдения. Таким образом удалось получить параллельные данные 13 анализов воды. Анализы делались в Лаборатории московских водопроводов под общим руководством С. А. Озерова. Рассмотрение результатов анализов показывает достаточную удовлетворительность для общей санитарной оценки качества воды. Методика производства анализов приводится в их изложении.[1]

Пункты исследований воды были следующие.

В настоящее время *для Волги* — пункт впадения в Волгу р. Шоши, в 497 км от истоков реки и в 59 км ниже г. Калинина. Площадь водосбора 32 400 км², в состав которой входят озера верховьев Волги. На режим стока реки влияет водохранилище — Верхне-Волжский бейшлот, который открывается во время низкой межени для поддержания на Верхней Волге отметок, обеспечивающих судоходство. В августе бейшлот обыкновенно закрывается для накопления воды к следующему судоходному сезону.

[1] Труды Комиссии по изысканию новых источников водоснабжения г. Москвы, вып. 4. Изд. Моск. коммун. хоз., 1927.

Для Оки был взят пункт непосредственно выше впадения р. Протвы, в 360 км от истоков, в 15 км ниже г. Серпухова. Площадь водосбора 59 220 км².

Для Москвы была взята площадь водосбора реки, расположенная выше Рублева,— места забора воды для Московского водопровода, в 190 км от истоков реки и в 27 км выше по течению от черты г. Москвы. Площадь бассейна принята равной 7680 км².

Расходы межени 1914—1915 гг. относятся по стоку к средним годам.

По геологическим данным площади бассейна рассматриваемых рек определяются следующими чертами.

Верхняя Волга имеет верховья, расположенные целиком в площади развития нижнего карбона (до Ржева). Ниже Ржева до Калинина распространены известняки среднего карбона, близ Калинина появляются известняки верхнего карбона, уходящие под толщу четвертичных и мезозойских отложений. Главнейшими водоносными горизонтами являются трещиноватые известняки среднего карбона, выходящие непосредственно в долине Волги на отрезке между Ржевом и Калининым.

Река Москва до города лежит полностью в области распространения среднего карбона, ближе к Москве уходящего под толщу мезозойских отложений. Главнейшими водоносными горизонтами являются известняки.

Бассейн Оки имеет верховья в девоне, который на отрезке Белев — Лихвин уходит под толщу нижнего карбона. Водоносными горизонтами являются известняки и доломиты верхнего девона в верхней части Оки и известняки нижнего карбона (упинские известняки) и отчасти угленосная толща (пески). Существенной особенностью литологического состава этих пород является то, что в известняках верхнего девона встречаются прослои гипса; в глинах малевко-мураевнинского яруса встречаются включения гипса, а в глинах угленосной толщи обычны стяжения серного колчедана, которые при выветривании дают серную кислоту или ее соли. Это накладывает известный отпечаток на состав подземных вод, циркулирующих в этих породах.

Анализы воды из Волги, Москвы и Оки за время с 15 августа 1914 г. до 20 февраля 1915 г., взятые из материалов Комиссии по изысканию новых источников водоснабжения г. Москвы, пересчитаны из формы окисных соединений в ионную форму и из этих данных выведены средние химических анализов (табл. 1).

Таблица 1

Средние анализов в мг на 1 л воды

Реки	Число анализов	Сухой остаток	Ca	Mg	Fe	Mn	HCO_3	SO_4	Cl	PO_4	SiO_2
Волга . . .	13	169	42.6	10.4	0.24	0	165.4	4.8	2.0	0.02	7.1
Москва . .	13	257	67.0	17.3	0.22	0.02	276.2	6.6	2.4	0.03	8.3
Ока	11	311.8	79.1	18.4	0.15	—	266.0	15.0	2.5	—	9.1

В анализах не показаны щелочи (K и Na), которые не определялись. Пересчет анализов в миллиграмм-эквивалентной форме указывает, что K и Na если и содержатся, то в незначительных количествах, в пределах ошибки в анализах. В основном, по катионной части все воды являются кальциево-магниевыми (табл. 2).

Таблица 2

Средние анализов в мг-эквивалентной форме

Реки	Ca	Mg	HCO_3	SO_4	Cl
Волга	2.13	0.86	2.72	0.10	0.06
Москва	3.35	1.42	4.52	0.14	0.07
Ока	3.96	1.51	4.36	0.94	0.07

Таблица 3

Средние анализов в мг-эквивалентной форме, в процентах

Реки	Ca	Mg	HCO_3	SO_4	Cl
Волга	35.6	14.4	47.3	1.6	1.1
Москва	35.1	14.9	47.8	1.5	0.7
Ока	36.0	14.0	40.6	8.8	0.6

Из сопоставления анализов для взятых вод трех рек видно, что наибольшей минерализацией отличаются воды Оки и наименьшей — Волги, что объясняется опресняющим влиянием стока из больших озер в верховьях Волги, задерживающим атмосферные осадки, а для Оки — наличием в ее бассейне растворимых сульфатных пород.

Приведенные в табл. 1, 2 и 3 анализы дают понятие о средних анализах воды. Для того чтобы получить представление о средних величинах состава речного стока, надо вычислить средне-взвешенные величины химического состава стока за время межени с 15 VIII 1914 г. по 20 II 1915 г. (табл. 4).

Таблица 4

Средневзвешенные результаты анализов речных вод в мг на 1 л воды

Реки	Ca	Mg	Fe	Mn	HCO_3	SO_4	Cl	PO_4	SiO_2	Плотный остаток
Волга . . .	40.1	9.4	0.2	—	156.7	4.3	1.7	0.02	7	161.1
Москва . .	66.8	17.5	0.2	0.02	269.8	6.5	2.4	0.03	8	257.4
Ока	79.0	18.3	0.1	—	267.6	44.6	2.6	—	9	311.4

Сопоставляя среднее из расходов каждой из рек с площадью ее бассейна, получим модуль стока для межени, характеризуемый периодом 15 VIII 1914 г.— 20 II 1915 г. (табл. 5). Эти данные лежат в пределах величин зимнего модуля глубокого грунтового питания, вычисленного Н. М. Бончковским.[1]

Зная, таким образом, сколько воды стекает по реке с площади 1 кв. км в секунду и зная средний состав воды, мы можем определить средние значения минеральной части стока за 1 секунду с 1 кв. км.

Таблица 5

Модуль стока и средние данные минеральной части стока за меженный период 14 VIII 1914 г.—20 II 1915 г. в мг на 1 л воды

Реки	Модуль стока в л на 1 кв. км в сек.	Ca	Mg	Fe	Mn	CO_3	SO_4	Cl	PO_4	SiO_2	Сухой остаток
Волга . . .	2.42	97	22.7	0.5	—	185.7	10.4	4.1	0.05	16.9	389.9
Москва . .	1.70	113.6	29.7	0.4	0.04	225.6	11.0	4.1	0.05	13.6	437.6
Ока	1.80	142	32.9	0.3	—	236.9	80.3	4.7	—	16.2	560.5

Для всей Верхней Волги с Окой и Москвой при площади 99 300 кв. км средний сток равен 2.3 л в секунду при минеральном стоке 495 мг с 1 кв. км, что составляет 16 т с 1 кв. км в год.

Ф. В. Кларк[2] называет величину минерального стока, выраженную в тоннах с квадратной мили в год,— «денудационным фактором» и определяет ее для поверхности суши земного шара в 68.4 т с 1 кв. мили, или 26.3 т с 1 кв. км в год.

Г. Меллард Рэд[3] вычислял величину химической денудации через время, которое потребовалось бы для понижения территории на 1 фут. Для Англии эта величина была им определена в 12 976 лет. В нашем случае химическая денудация для снижения поверхности на 1 фут потребовала бы:

для Волги	47 300 лет
для Москвы	42 150 »
для Оки	32 900 »
для Верхней Волги с ее притоками	37 240 »

Это расхождение наших данных с данными для Англии объясняется тем, что в нашем случае мы имели дело с речными водами верховых частей рек, где воды отличаются меньшей минерализацией, чем в нижнем и среднем течении, а также с рядом других физико-географических условий стока.

Приведенные данные меженного речного стока верховьев Волги, Москвы, Оки имеют источником своего питания артезианские воды

---

[1] В. А. Жуков, М. П. Толстой, С. В. Троянский. Артезианские воды каменноугольных отложений Подмосковной палеозойской котловины, 1939.

[2] F. W. Clarke. The Data of Geochemistry. 5 Edition, Washington, 1924.

[3] G. Mellard Redde. Chemical denudation in relation to geological time. Proc. Liverpool. Geol. Soc., vol. 3,

карбона и отчасти девона, пользующиеся распространением в бассейнах этих рек. Интересно привести данные анализов этих вод из скважин в районах их распространения. Ниже мы и сопоставляем данные речных вод и главнейших трех водоносных горизонтов буровых скважин в бассейне Волги, Москвы, Оки (табл. 6, 7, 8).

Таблица 6

Средневзвешенные результаты анализов воды Волги и средние величины анализов вод буровых скважин бассейна Волги (Калининская область)

	Ca	Mg	Na	Cl	HCO_3	SO_4	Сухой остаток	
Волга . . .	40.1	9.4	—	156.6	1.7	4.3	161.1	
C_3	78.7	25.5	26.2	327.4	24.0	53.8	517.4	Среднее из 31 анализа
C_2	76.9	32.9	23.9	298.9	27.8	92.2	554.5	Среднее из 15 анализов
C_1	70.4	18.6	10.5	266.6	14.5	22.4	402.8	Среднее из 16 анализов

Таблица 7

Средневзвешенные результаты анализов воды Москвы и средние величины анализов вод буровых скважин бассейна Москвы (Московская область)

	Ca	Mg	Na	HCO_3	Cl	SO_4	Сухой остаток	
Москва . .	66.8	17.5	—	269.8	2.4	6.5	257.4	
C_3	79.7	25.8	7.6	358.7	2.9	24.7	350.5	Среднее из 27 анализов
C_2	70.6	25.4	11.3	342.2	3.6	18.3	319.8	Среднее из 55 анализов
C_1	80.0	38.4	7.4	400.7	1.7	41.3	436.3	Среднее из 5 анализов

Таблица 8

Средневзвешенные результаты анализов воды Оки и средние величины анализов вод буровых скважин бассейна Оки (Московская, Орловская, Тульская области)

	Ca	Mg	Na	HCO_3	Cl	SO_4	Сухой остаток	
Ока	79.0	18.3	—	267.6	2.6	44.6	311.4	
C_2	80.6	36.5	31.5	301.3	5.5	158.3	451.5	Среднее из 27 анализов
C_1	78.5	42.9	40.3	263.1	38.9	171.6	567.7	Среднее из 5 анализов
D	120.1	38.4	42.5	399.0	59.3	134.2	749.7	Среднее из 12 анализов

Следующей стадией нашей работы по химической денудации и характеристике подземного питания наших рек намечены работы по бассейну Волги в целом и по Днепру.

А. П. ВИНОГРАДОВ

РАССЕЯННЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ (О ЗНАЧЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ)

ВВЕДЕНИЕ

Нахождение отдельных редких и рассеянных химических элементов в тех или иных количествах в породах, минералах позволяет, как это хорошо известно в геохимии, определять месторождение, откуда эти породы, минералы были получены, и таким образом судить о их генезисе.

Но при этом задача еще более облегчается, если мы знаем хотя бы некоторые численные отношения между химическими элементами, обнаруженными в данном образце. Исключительное значение для понимания генезиса, несомненно, представляет точное знание отношений между парами близких по своим физико-химическим свойствам элементов (соседних в ряду или в группе Менделеевской системы), например: Ni/Co, Ca/Sr, Nb/Ta, K/Rb, Cl/Br и т. д. Совершенно очевидно, что процессов, нарушающих эти отношения в породах и минералах, значительно меньше, чем для любой другой произвольно выбранной пары химических элементов. Можно было бы в этом направлении сформулировать следующее правило: чем меньше число физико-химических процессов, способных в условиях земной коры нарушать некоторые нормальные отношения для данной пары химических элементов, тем надежнее наши геохимические выводы, построенные на анализе нарушений этих отношений. Этот путь мне представляется и теоретически и практически очень важным.

Все это в полной мере относится и к минеральным, пластовым и другим водам. Практически гидрохимики давно и широко пользуются отношениями Cl/SO_4, Na/Cl и т. п. для выяснения генезиса вод. Здесь я говорю лишь об отношениях между близкими по физико-химическим свойствам химическими элементами (или ионами) и об отношении отдельных химических элементов с их редкими или рассеянными в природных условиях соседями, составляющими с ними пару. В качестве примера избраны щелочные, щелочноземельные элементы и галогены в связи с нахождением их, главным образом, в минеральных, пластовых водах. Я воспользуюсь с этой целью, в частности, данными для Br, J, B, Li, Sr, полученными для вод группы Агура — Старая Мацеста, и другими, я коснусь вопроса об отношениях Ca/Sr, Ba/Ra, K/Rb, K/Li, Cl/Br и некоторых других в этих водах, в связи с происхождением их состава.

В настоящее время число определений Sr, Rb, Li и других рассеянных химических элементов в этих водах непрерывно увеличивается.

Между тем, правил или закономерностей, которые позволяли бы использовать эти важные данные, не дается. Поэтому, если эта статья вызовет хотя бы более систематическое и обязательно одновременное получение этих данных при общем анализе воды (пары ионов !), то она достигнет цели.

Прежде чем говорить о нарушении отношений Ca/Sr или K/Rb и др. в водах и тем более о причинах или процессах, их вызвавших, мы должны условиться, какие же отношения этих и других пар и в чем будем считать отправными ненарушенными, так сказать нормальными. В настоящее время я предлагаю считать таковыми отношения пар химических элементов в водах широкого распространения, где они практически постоянны,— морской, пресной и т. д., затем в главных, по крайней мере, породах осадочного цикла, где они тоже известны и мало меняются и, во всяком случае, весьма отличны и характерны (глины, известняки, сланцы и т. д.). Полноты знания в этом направлении, однако, еще нет.

Так, например, для морской воды имеются данные большой точности, чего нельзя сказать о пресных водах. [1]

Сравнивая коэффициенты пропорциональности этих двух крайних случаев — морской воды и пресной, можно видеть все случаи поведения пары близких ионов: в одном случае тенденцию на выравнивание концентрации, обогащение одного из пары (Ca/Sr), в другом — расхождение, уменьшение одного из пары (K/Rb), в третьем, наконец,— сохранение отношения на всем длинном пути миграции ионов (Cl/Br).

	Морская вода (S = 19‰) [1]	Пресная вода
Ca/Sr	33	Около 200
Sr/Ba	260	
Ba/Ra	5.10^8	
K/Rb	1 900	Меньше 1 900
Rb/Cs	(100)	
K/Li	2 500	
Cl/Br	293	
Br/J	1 300	

ПОЛУЧЕННЫЕ ДАННЫЕ

Приведем сначала наши данные, для того чтобы можно было пользоваться ими в последующем изложении (см. табл. 1).

Все воды, к которым относятся эти данные, были собраны экспеди-

Таблица 1

Названия вод	Сумма	NH_4	Na	K	$Li \cdot 10^{-4}$	Ca	$Sr \cdot 10^{-2}$	Ca/Sr	Mg	Cl	Br	Cl/Br	$J \cdot 10^{-3}$	$B \cdot 10^{-3}$	HCO_3	SO_4	SO_3	HS'
Воды южной зоны абхазской фации																		
Старая Мацеста, бур. 2	6.038	0.0065	1.818	0.089	8.1	0.2937	1.7	18	0.0875	3.39	0.014	241	2.08	8.0	0.3673	0.003	0.0006	0.054
» » » 3	6.819	0.0045	0.0050	0.034	10.0	0.3436	1.9	13	0.099	3.81	0.015	254	2.3	8.0	0.3514	0.0012	—	0.0507
» » » 4	10.9679	0.0092	3.30	0.138	11.1	0.598	3.0	17	0.1657	6.245	0.024	250	4.1	13.3	0.408	0.0029	0.0003	0.094
» » » 5	8.1888	0.0075	2.4305	0.1078	8.1	0.3943	2.6	16	0.1196	4.585	0.0194	237	3.0	9.3	0.3813	0.0152	0.0008	0.0734
» » » 6	7.2242	0.0049	2.097	0.089	10.0	0.3836	2.1	19	0.1092	4.031	0.0155	260	2.1	8.0	0.3734	0.0084	—	0.0569
» » » 14	7.0563	0.0060	2.0647	0.09	8.8	0.3734	1.8	20	0.0943	3.939	0.0141	278	2.0	7.3	0.3673	0.0013	—	0.0509
» » » 8	11.675	0.0083	3.5572	0.138	12.2	0.5378	2.9	19	0.180	6.059	0.026	233	3.7	13.1	0.3838	0.0019	—	0.1002
Агура, » 9	5.720	0.004	1.6390	0.075	3.2	0.3139	1.5	20.0	0.081	3.146	0.011	286	4.4	5.2	0.3434	0.008	—	0.043
» » 7	5.975	0.005	1.6797	0.0778	3.4	0.317	1.7	19	0.082	3.218	0.011	292	4.1	5.4	0.3514	0.0002	0.0001	0.041
Петропавловские, » 2	3.4	0.0036	1.056	0.018	2.6	0.124	—	—	0.045	1.766	0.006	294	0.45	3.7	0.376	0.023	—	0.006
» » (20)	—	—	—	—	2.7	—	—	—	—	—	(0.002)	—	0.47	2.6	—	—	—	—
» » (32)	—	—	—	—	2.1	—	—	—	—	—	0.002)	—	0.45	1.5	—	—	—	—
Менджи, » 8	—	—	3.5293		1.6	0.138	1.0	14	0.104	5.684	0.021	270	2.0	9.37	0.4724	0.032	—	0.064
» » 11	—	—	5.1037		1.3	0.118	1.0	12	0.20	8.265	0.027	306	2.4	8.0	0.339	0.142	—	0.068
Ист. около р. Гали (2)	—	—	—		—	—	—	—	—	—	0.0346	—	7.55	3.1	—	—	—	—
Цаиши, ист. Ц-3	(2.5)	—	0.8367		0.6	0.05	—	—	0.014	1.161	0.006	193	1.2	4.85	0.413	0.025	—	0.010
Воды области развития юрской толщи																		
Анбга, ист. 1	—	—	0.0726	0.01	—	0.0181	—	—	0.0044	0.0242	$8.6.10^{-5}$	—	0.046	2.46	0.05	0.046	—	0.0036
» у р. Миндолина, ист. 2	—	—	0.1276	0.0038	—	0.0036	—	—	0.0006	0.0585	6.10^{-5}	—	0.072	6.79	0.052	0.096	—	0.0048
» там же, » 3	0.78	—	0.2327	0.006	1.3	0.022	—	—	0.0013	0.3152	$7.8.10^{-4}$	—	0.158	11.7	0.1275	0.002	—	0.0046
» у р. Псоу, » 5	—	—	0.0138		—	0.091	—	—	0.0229	0.065	2.10^{-4}	—	0.059	9.6	0.2342	0.065	—	—
» там же, » 5а	—	—	0.0179		—	0.0786	—	—	0.017	0.0264	1.10^{-4}	—	0.022	3.9	0.2611	0.047	—	—
» » » 5б(новый)	—	—	—		—	—	—	—	—	—	9.10^{-3}	—	0.012	3.2	—	—	—	—
Гузевые скалы, » 6	—	—	0.0433		—	—	—	—	0.009	0.0123	1.10^{-4}	—	0.01	3.43	0.095	0.037	—	—
Ткварчели, бур. 4	—	—	0.0676		—	0.0632	—	—	0.0245	0.0985	$1.65.10^{-3}$	—	0.08	0.89	0.3355	0.229	—	—
Морская вода	35.0	—	10.56	0.38	1.5	0.4	1.3	33	1.27	18.99	0.06	310	0.05	4.5	—	2.64	—	0.6

[1] Здесь и далее даются весовые отношения, которые легко перевести в атомные.

[1] В квадратных скобках — номера списка литературы в конце статьи.

цией Института геологических наук Академии Наук СССР в сентябре 1938 г. по нашей инструкции, специально для анализа на рассеянные химические элементы [1] [1]. Воды поступали в анализ тотчас же по получении. Sr и Li определялись спектральным методом, который раньше был разработан и изложен Т. Ф. Боровик-Романовой [2]. Точность в обоих случаях ±12%. Br и J определялись Л. С. Селивановым [3] и Е. В. Менжинской методом, изложенным подробно ранее [4]. Бор определялся прямым титрованием с маннитом С. Г. Цейтлин [5]. Метод был изложен ранее. В двух последних случаях точность определения была ±10%.

Я не считаю необходимым давать здесь описание характера вод и геологических условий месторождений вод этих двух групп южной зоны абхазской фации и юрских туфо-порфиритовых толщ. Это неоднократно и прекрасно было выполнено различными исследователями ранее [6].

КОЭФФИЦИЕНТ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ Ca/Sr

Первичным источником стронция в водах являются разрушающиеся горные породы, где Ca/Sr равно около 200. То же отношение имеется и в пресных водах. Морская вода, будучи не насыщена $Sr^{\cdot\cdot}$, обогащается $Sr^{\cdot\cdot}$ вследствие того, что выпадающие осадки $CaCO_3$ и др. (как биогенные, так и химические) содержат Sr не в том отношении Ca/Sr, в котором он находится в растворе морской воды, именно 33, а в отношении Ca/Sr около 200. Поэтому, в свою очередь, все пресные и другие воды, размывающие и растворяющие карбонатные породы — известняки, имеют Ca/Sr около 200. В этом я убедился, в частности, при исследовании забайкальских вод [7]. Часть этих данных для сравнения приводится ниже.

В процессе морской садки солей Sr, по всем данным, выпадает перед садкой гипса или ангидрида [8] в виде целестина. Пласты карбонатов и сульфатов с целестином могут являться источником обогащения подземных вод стронцием.

С другой стороны, они же являются в последующем источником образования вторичных месторождений стронция. Эта совершенно схематично и в самом главном представленная картина распределения стронция и Ca/Sr в водах и осадочных породах уже позволяет высказать следующие соображения:

1) Ca/Sr карбонатных и гидрокарбонатных вод, связанных с растворением карбонатных пород, очевидно, должно приближаться к 200;

2) воды морские и дериваты морской воды должны иметь Ca/Sr, близкое к 33, и

3) целестин, как наиболее распространенный в осадках минерал стронция, дающий месторождения, может вызвать нарушения Ca/Sr в водах до значения 1 или меньше.

Теперь посмотрим (табл. 2), с этой точки зрения, на имеющиеся данные. Мы ограничимся лишь примерами, но число этих данных в общем невелико. Многие из них в настоящее время устарели или не могут быть использованы (неодновременное определение Ca и Sr и т. п. причины).

[1] Одновременно под руководством А. Н. Бунеева велся их общий анализ. Эти данные с любезного разрешения А. Н. Бунеева я здесь привожу.

Таблица 2

Названия вод	% Ca	% Sr	Ca/Sr
Речные воды [7]			
Река Уров	0.00230	$1.03 \cdot 10^{-5}$	257
» Ургунь	0.00223	$1.48 \cdot 10^{-5}$	151
» Унда	0.00134	$5.8 \cdot 10^{-6}$	131
» Ср. Борзя	0.00406	$1.78 \cdot 10^{-5}$	232
Термальные источники [9]			
Ilidža	0.03249	3.10^{-4}	105
Bukovicka Banja	0.01053	$8 \cdot 10^{-5}$	131
Velika (Slavonia)	0.00412	$2 \cdot 10^{-5}$	200
Vilminog Vrela	0.01602	$1.3 \cdot 10^{-4}$	125
Минеральные воды, насыщенные CO_2			
Sprudel [10]			200
Берекей, скв. 3 [11]	0.138	$8.1 \cdot 10^{-4}$	172
Хлоридно-натриево-кальциевые воды			
Гейдельберг [12]	0.688	0.0234	33
Челекен [13]	1.66	0.030	55
Крейцнах [14]	0.0762	0.0044	17
Salsomaggiore [14]	—	—	14
Kochbrunnen [14]	—	—	33
Pomeray, Ohio [14]	—	—	35
Краснокамск [15]	0.1240	0.0334	35
Туймаза [15]	2.165	0.0326	66
Сызрань [15]	0.566	0.0205	28
Старая Мацеста [14]	0.0373	0.0018	20

Из табл. 2 видно, что действительно многие термальные воды, особенно воды районов развития известняков, гидрокарбонатные минерализованные воды и т. п., имеют отношение Ca/Sr, близкое к 200 или выше. С целью показать огромное значение процессов растворения карбонатных пород для нарушения Ca/Sr я привожу данные для скв. 3 Берекея, которая, как известно, фонтанирует, как и другие скважины этого района, с выделением больших масс CO_2 и отложением травертинов, причем травертин Берекея имеет Ca/Sr = 135. Травертин Карлсбадского шпруделя имеет Ca/Sr = 294 и т. д.

Хлоридно-натриево-кальциевые воды, генезис которых обычно связывают с древней морской водой, имеют Ca/Sr, колеблющееся (как видно из табл. 2) около 20—60. По этому поводу я хочу сделать ряд следующих замечаний.

Во-первых, нас не должны смущать данные по стронцию, например для Ухтинских вод [16], вод Кала (Азербайджан) и ряда других, где, как известно, находили стронций порядка 2—40 мг в литре. Иными словами, отношение Ca/Sr в них определялось бы порядком цифр 1000—3000. Я имею все основания считать, что эти данные просто являются ошибочными.

Во-вторых,— что весьма интересно и требует самого тщательного исследования,— так называемые хлоридно-натриево-кальциевые воды имеют Ca/Sr около 30. Это значит, что они никак не могли возникнуть, например, путем только обменной реакции — между раствором NaCl (или $MgCl_2$) с известняками и другими породами: $NaCl + CaCO_3 \rightarrow CaCl_2 + Na_2CO_3$, поскольку в этих породах (известняках, глинах и др.) Ca/Sr = около 200. Я не хочу высказывать здесь соображений, которые смогли бы объяснить процесс сохранения первичного отношения Ca/Sr, поскольку у меня нет достаточных экспериментальных данных. Но при любом объяснении генезиса этих вод должно быть дано объяснение отношения Ca/Sr.

Имея в виду, что данные для стронция часто приводятся без указания не только точности определения, но даже метода, сейчас трудно говорить о значении вариаций коэффициента внутри ряда хлоридно-натриево-кальциевых или какой-нибудь другой группы вод. Вариации эти существуют. С возможной точностью были сделаны определения стронция в водах группы Атура — Мацесты (и Аибги). Воды первой группы не без основания связывают с морской водой, захороненной в осадках. Коэффициенты пропорциональности, как мы видим, Ca/Sr, Cl/Br и др. не противоречат этой концепции. Ca/Sr в этих водах близко к 20, т. е. произошло относительное обогащение Sr по сравнению с Ca (при некотором абсолютном повышении содержания Sr и параллельно Ca, по сравнению с нормальной морской водой). Имело ли место здесь дополнительное растворение рассеянного целестина пород, или произошли более сложные процессы при захоронении морской воды в осадках дна, когда в иловых водах шел обычный процесс нарастания Ca, CO_2 и редукции SO_4'',— неизвестно. Но, несомненно, этот процесс сохранения Ca/Sr при обогащении воды Ca представляет общий интерес.

Сульфатные воды (гипсовые, в частности) содержат следы стронция, и отношение Ca/Sr меньше 200, чего и следовало ожидать.

В результате этого краткого изложения я могу сказать, что Ca/Sr коэффициенты минерализованных, пластовых и других вод весьма типичны для разного типа вод и позволяют делать, на фоне других данных, ряд выводов о генезисе состава этих вод и ставят новые конкретные вопросы в этом направлении.

КОЭФФИЦИЕНТ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ Ba/Sr, Ra/Ba

Несмотря на ряд определений бария в водах, отношения Ba/Sr не изучены вовсе и не получили геохимического объяснения.

Поэтому мы воздержимся от рассмотрения закономерностей, которых можно было бы ожидать в этом случае.

Недостаточно сведений имеется также о чрезвычайно важном признаке вод Ra/Ba. Установлено, что воды, как правило, хлоридно-натриево-кальциевые (без SO_4''), богатые барием, одновременно содержат повышенные количества Ra. Далее установлено, что Ba `` повышает извлечение Ra из пород и минералов. Интересно, что Ra/Ba в этих водах из разных мест практически одинаково и равно Ra/Ba нормальной морской воды.

Карбонатные породы имеют тот же коэффициент Ra/Ba. Напомним, кстати, что растворимость $BaCO_3$ при повышенных давлениях CO_2 (20—25 атм.) превосходит растворимость $CaCO_3$ и $SrCO_3$. Травертин и

осадки источников и буровых, возникшие или в результате потери CO_2 водой или ее встречи с SO_4'', например скважины Берекея, Лаутенталя и мн. др., как хорошо известно, всегда исключительно богаты барием.

Таблица 3

Названия вод	Ra/Ba
Ухта [16]	$2 \cdot 10^{-7}$
Биби-Эйбат [17]	$0.7 \cdot 10^{-7}$
Дузлак, Дагестан	$0.6 \cdot 10^{-7}$
Туймазы	$n \cdot 10^{-7}$
Гейдельберг [12]	$1.5 \cdot 10^{-7}$
Морская вода [1]	$2 \cdot 10^{-7}$

КОЭФФИЦИЕНТ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ K/Rb, Rb/Cs

Рубидий и цезий широко распространены во всех водах, но несмотря на хорошую растворимость их солей не дают высоких концентраций. Они не накапливаются и в морской воде. Наиболее важным процессом в геохимической истории этих металлов (как и всех щелочей) является сорбция их глинами. Рубидий постоянный спутник калия. Между тем, K/Rb массивных пород около 80, а морской воды K/Rb=1900 [1] вследствие преимущественной сорбции рубидия (и еще большей цезия) глинами, в которых K/Rb>80. Таким образом, глины, филлиты, сланцы и другие породы, подвергнутые действию вод, могут создать чрезвычайное разнообразие K/Rb в них. Сложность определения рубидия не позволила накопить достаточно данных для рубидия минеральных подземных вод.[2] Определения рубидия в этих водах единичны. Мы, строго говоря, не знаем даже — превалирует ли в этих водах K/Rb со значением больше морского или меньшим. Наиболее интересными являются данные Толмачева и Филиппова. Ими были одновременно определены K и Rb (Li). Эти данные показывают характерные различия K/Rb для вод разного типа в пределах даже одного минераловодческого района. Совершенно отсутствуют данные для Rb/Cs. [3]

Таблица 4

Названия вод	% Li	% Rb	Na/Li	K/Rb
Кавказские воды [25]				
Теплый Нарзан, Пятигорск	$2.4 \cdot 10^{-4}$	$1.2 \cdot 10^{-5}$	4000	5500
Славяновский, Железноводск	$1.4 \cdot 10^{-4}$	$0.8 \cdot 10^{-5}$	4500	4600
Ист. 17 Ессентуки	$2.2 \cdot 10^{-4}$	$0.3 \cdot 10^{-5}$	15600	3500
Доломитный Нарзан, Кисловодск	$0.2 \cdot 10^{-4}$	$0.6 \cdot 10^{-5}$	19000	4000
Баталинский	$0.06 \cdot 10^{-4}$	$0.02 \cdot 10^{-5}$	1900000	115000
Лысогорский	$0.03 \cdot 10^{-4}$	$0.015 \cdot 10^{-5}$	1600000	135000

[1] То же отношение K/Rb обнаружено и в карналлитах.

[2] Данные Шмидта ошибочны: см. Bossuet [18].

[3] По данным Heller и Wagner [22] их можно рассчитать: в Шпруделе Rb/Cs = 6.6 [1], в карналлитах Rb/Cs = 100, откуда допускают, что и в морской воде аналогичное отношение. Прямых определений Cs нет.

Названия вод	% Li	% Rb	Na/Li	K/Rb
Югославские гидрокарбонатные и термальные воды [9]				
Bukovičkoj Bahji	$4.48 \cdot 10^{-4}$	—	256	—
Vrdniku	$6 \cdot 10^{-6}$	—	26000	—
Ilidži	$3.9 \cdot 10^{-4}$	—	6500	—
Kostrivnici	$6 \cdot 10^{-4}$	—	3600	—
Oceslavcima	$1.1 \cdot 10^{-4}$	—	810	—
Slatina Radenci	$1.0 \cdot 10^{-4}$	—	1875	—
Хлоридно-натриево-кальциевые воды				
Kreuznach	$1 \cdot 10^{-3}$	—	410	—
Старая Русса	$6 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	8760	370
Старая Мацеста, бур. 8	$1.2 \cdot 10^{-4}$	—	3000	—
Агура, бур. 9	$3.2 \cdot 10^{-5}$	—	5[illegible]00	—
Петропавловский, бур. 2	$2.6 \cdot 10^{-5}$	—	4000	—
Менджи	$1.6 \cdot 10^{-5}$	—	Около 20000	—

КОЭФФИЦИЕНТ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ K/Li, Na/Li

Литий — один из наиболее рассеянных в водах химических элементов. Известно множество определений лития в минеральных водах, появившихся благодаря увлечению одно время бальнеологическими свойствами вод, содержащих литий [19, 20]. Определения в них лития — разной степени достоверности, а потому они усложняют выявление закономерности его распределения в водах и в без того сложной картине миграции лития. Если исключить чисто сульфатные воды и некоторые другие, то в большинстве минеральных вод разных классов K/Li (или Na/Li) ниже, и часто значительно ниже, чем в морской воде. Это значит, что обогащение Li идет за счет извлечения его из пород, иногда в больших количествах, что ведет к образованию «литиевых вод». Далее, повидимому, в некоторых районах (особенно, где развиты кислые породы), независимо от характера вод, они бывают обогащены Li.

Замечается относительно высокая концентрация лития в хлоридно-натриево-кальциевых водах и рассолах (см. табл. 4) Сальсомаджиоре, Большого соленого озера, Наугейма и др. Здесь любопытно познакомиться с коэффициентами K/Li и Na/Li для вод Агура — Мацестинской группы, принадлежащих к тому же классу вод и объединяемых обычно по генезису (сероводородные воды приморской полосы южной зоны абхазской фации). В них также содержание лития повышено, и отношение K/Li заметно ниже морского. Но вместе с тем, отдельные виды вод этой группы — Старая Мацеста, Агура, Петропавловские, Менджи имеют различное K/Li, характерное для каждого вида. Поэтому высказываемые нередко взгляды относительно того, что воды этой группы являются одной и той же водой, лишь разной степени разбавления, не выдерживают критики. Достаточно обратить внимание, например, на то, что воды Старой Мацесты и Менджи, которые считаются наиболее сходными, отличаются K/Li в 10 раз и т. п. Все это указывает на индивидуальные процессы обмена этих вод с разными породами в разное время.

Воды гейзеров богаты литием, но эти данные относятся только к Иеллоустонскому парку. Возможно, что явление окажется локальным. Гидрокарбонатные воды, в частности, и термальные нередко богаты литием — во Франции, Югославии.

Отсутствие каких-либо строго установленных закономерностей для отношения K/Li и Na/Li заставляло многих авторов обращать внимание на отношение лития к другим составным частям вод. Отсюда возникает необходимость посмотреть литий во всех наших рассолах (девон, карбон).

Еще больше внимания привлекает связь в содержании в водах лития и бора. Если обратиться к табл. 1, то бор практически одинаково находится не только в Агура — Мацестинской группе, но и в совершенно другой группе — в водах Аибги, а литий заметно меняется. Но имея в виду, что литий, как и бор, не дает своих минералов и не концентрируется в осадках при испарении морской воды и остается в эвтонике вместе, повидимому, с бором, то некоторые общие черты в их поведении могут иметь место. Иным словами, там, где мы наблюдаем хотя бы некоторое обогащение (вследствие вымывания древних солей) в водах, можно ожидать и повышения содержания лития. Исходя из этих соображений, мы должны, например, ожидать повышения содержания лития и $K/Li < 2500$ в водах бессточных Аральского и Каспийского морей, питающихся выносами древних солей, т. е.:

	B/Cl	K/Rb	K/Li
Каспийское море	$6.6 \cdot 10^{-4}$	3000	?
Аральское море	$6 \cdot 10^{-4}$	5300	?
Океан	$2.4 \cdot 10^{-4}$	1900	2500

Если бы это оказалось так, то K/Rb и K/Li в водах Арало-Каспийской области получили бы разную тенденцию. Отсюда выяснилось бы и отношение между Rb и Li

Подобных частных задач в гидрохимии лития еще много.

КОЭФФИЦИЕНТ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ Cl/Br

Из галогенов наибольшее значение имеет, для распознавания происхождения состава подземных вод, коэффициент Cl/Br.

Я уже имел случай на этом останавливаться [21]. Поэтому здесь напомню лишь главные полученные выводы, основанные на сравнительном изучении истории галогенов. Я считаю, что геохимическое отношение Cl/Br=300, характерное для морской воды, является наиболее обычным, нормальным для разнообразных вод. Какие процессы, идущие в земной коре, могли бы нарушить это отношение? Рассмотрение всех возможных таких процессов, как то: образование соединений Cl и Br разной растворимости, различная сорбция их породами, разбавление водами с NaCl (образовавшимися в результате растворения меторными водами штоков соли), морская садка солей и т. п.,— показало, что только два последних процесса — разбавление минеральных вод водами размыва NaCl и морской галогенез — действительно нарушают Cl/Br вод. Причем, размыв NaCl отложений приводит к сдвигу Cl/Br в сторону >300, а процесс испарения морской воды, садки солей, широко идущий в теплых странах, вдоль берегов средиземных морей, приводит к образованию бромной рапы, рассола с Cl/Br со сдвигом

в другую сторону <300. Подобные подземные воды более редки. У нас они встречаются в Дагестане (Берекей, Даг-Огни), в отложениях нижней перми Верхних Чусовских Городков, в карбоновых водах Краснокамска, Северокамска, Полазны и др.

Таким образом, хлоридно-натриево-кальциевые воды, свободные от SO_4'', и богатые магнием и калием рассолы с Cl/Br = 300, < 300 и > 300 образуются, как это легко понять, в разных физико-географических условиях, которые геолог может легко реконструировать. Детальное знание состава вод и совокупность коэффициентов пропорциональности для различных пар ионов облегчают ему задачу. В частности, Cl/Br Мацестинской группы вод, принимая во внимание ошибки, совершенные при определении галогенов, в общем отвечает Cl/Br современного моря или несколько ниже.

Скажу несколько слов о иоде. Несмотря на то, что иод является спутником галогенов Cl и Br, геохимическая история иода настолько отлична от двух последних и процессы, разделяющие иод от других галогенов, настолько разнообразны и многочисленны, что коэффициенты Cl/J или Br/J не могут, по крайней мере в настоящее время, быть ассоциированы с одним определенным геохимическим моментом. Безусловно высокое содержание иода и следовательно соответствующего коэффициента Br/J в воде (обычно хлоридно-натриево-кальциевые и другие типы) связано не с процессом концентрации его в этой воде (путем концентрации самой воды, рассола), а получается в результате извлечения иода из донных осадков моря, пород, образовавшихся из них и т. п. Единственным местом, как мы в свое время указывали [4], где идет концентрация иода, являются илы морей,[1] богатые органическим веществом и богатые тонким материалом. Они или их дериваты являются источниками иода в пластовых водах. Вот почему воды, связанные, например, со сланцами или с известняками, богатыми органическим веществом, содержат максимальное количество иода. С этой точки зрения воды Мацесты, содержащие иод порядка $3 \cdot 10^{-4}$ %, в своем происхождении были связаны с морскими (илистыми) осадками или породами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге мне хочется сказать, что выяснение истории формирования состава подземных минеральных вод невозможно без привлечения геохимических принципов.

Поэтому при изучении, с этой точки зрения, состава вод и их генезиса знание, возможно полное, количественного химического состава вод является обязательным, но не единственным. Не менее важным является знание отношения, какое существует в растворе между отдельными парами химических элементов. При этом я имел в виду отношения — коэффициенты пропорциональности — между парами близких (соседних) по физико-химическим свойствам химических элементов. Процессов, приводящих к определенным отношениям пары близких химических элементов, несоизмеримо меньше, чем процессов, приводящих к определенным отношениям любой отдельной пары химических элементов или ионов. Это представляет ту практическую и научную выгоду, что эти процессы могут быть легче обнаружены и полнее изучены

[1] Тот же процесс идет в почвах, торфах.

свете геохимической истории данной пары химических элементов. Рассмотренные мною коэффициенты пропорциональности Ca/Sr, Ra/Ba, K/Rb, Cl/Br и др. для подземных вод, действительно, оказались полезными при анализе характера происхождения вод, и я уверен, что они будут далее использованы с этой целью.

Я обратил внимание на отношения, существующие в водах для рассеянных химических элементов, могущие явиться важными показателями процессов формирования вод.

Значение коэффициентов пропорциональности было рассмотрено, в частности, применительно к составу Мацестинских вод.

Ближайшей задачей изучения вод является получение этих коэффициентов пропорциональности и выяснение их общего геохимического значения и как локального фактора.

Я хотел бы обратить еще внимание на то, что определение отдельных и редких химических элементов желательно и, пожалуй, необходимо вести одновременно с общим анализом или, по крайней мере, одновременно с парным химическим элементом, указывая метод и точность определения.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Виноградов. Геохимия рассеянных элементов морской воды. Успехи химии, 1944, т. XXII, вып. 1.
2. Т. Ф. Боровик-Романова. К геохимии рубидия. Тр. Биогеохим. лабор., т. VIII, 1945.
3. Л. С. Селиванов. К геохимии и биогеохимии брома. Тр. Биогеохим. лабор., т. V, 1939; т. VII, 1944.
4. А. П. Виноградов. Иод в морских илах. Тр. Биогеохим. лабор., т. V, 1939.
5. С. Г. Цейтлин. К геохимии бора. Диссертация.
6. См. Отчеты экспедиции Инст. геолог. наук АН СССР, 1938.
7. А. П. Виноградов. Геохимические исследования в районе Уровской эндемии. ДАН СССР, 1939, т. 23, № 1, 64.
8. А. П. Виноградов и Т. Ф. Боровик-Романова. К геохимии стронция. ДАН СССР, 1945, XLVI, № 5, 211.
9. St. Miholic. Archiv za hemiju i technologiju, 1938, br. 3, 83; Glasnik Hemiskog Drustra Kraijevine Jugoslavije, kn. 8, sv. 314, 1937.
10. J. Roth. Allgemeine u. chemische Geologie, I, 1879; II, 1887; III, 1890.
11. Л. Комлев, П. Метелкин и В. Савченко. Тр. Гос. радиев. инст., ч. II, 1933.
12. A. Becker. Zeit. f. anorg. u. allg. Ch., B. 131, 209, 1923.
13. Н. В. Тагеева и И. Е. Старик. ДАН СССР, 1931, № 7.
14. F. W. Clarke. Data of Geochemistry. 1924.
15. А. А. Варов и И. И. Ромм. ДАН СССР, 1942, XXXV, № 4, 124.
16. В. И. Баранов и И. Д. Курбатов. Тр. Гос. радиев. инст., ч. II, 1933, стр. 139.
17. Л. В. Комлев. Тр. Гос. радиев. инст., ч. II, 1933, стр. 207.
18. Bossuet. C. r., 202, 1162, 1936.
19. A. Lepape. Rap. XIV, Congrès intern. d'hydrol., chim., géolog., méd.., Toulouse, 1933.
20. А. П. Герасимов. Минеральные воды в России, Изд. Кепс, 1920.
21. А. П. Виноградов. О Cl/Br коэффициентах подземных вод. ДАН СССР, 1944, XLIV, № 2, 74.
22. K. Heller u. C. Wagner. Die Balneologie, I. Jahr., 1934, H. 5, p. 241.
23. М. Г. Филиппов и Ю. М. Толмачев. ДАН СССР, 1936, III, № 7, 321.

А. М. ОВЧИННИКОВ

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА О ФОРМИРОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Очень важной проблемой гидрогеологии является изучение формирования подземных вод. Она охватывает большой круг вопросов, касающихся питания вод, связи с гидрометеорологическими факторами, связи с поверхностными водами, условий циркуляции и образования того или иного генетического типа подземных вод, формирования газового и химического состава, динамики и режима подземных вод. Проблема формирования подземных вод должна заключать в себе комплексный анализ следующих пяти элементов:

1) геологической структуры, в пределах которой формируется подземная вода;

2) гестермических условий, определяющих глубину циркуляции воды, а в зоне сезонного промерзания и вечной мерзлоты — переход из жидкого состояния воды в твердое и наоборот;

3) гидрохимии подземных вод; выяснение процессов выщелачивания, растворения или вытеснения солевого комплекса из осадочных горных пород, обогащения специфическими элементами (железо, бром, иод и др.);

4) газоносности, тесно связанной с подземными водами; тип природного газа, заключенного в воде или свободно выделяющегося, отражает процессы, происходящие в районе формирования воды;

5) динамики и режима подземных вод, которые являются лучшими показателями условий их формирования.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

У большинства исследователей геологические условия залегания подземных вод и глубина эрозионного вреза являлись основными критериями для отнесения вод к типу грунтовых или артезианских. В работах М. М. Пригоровского [21] и А. Н. Семихатова [25] при районировании артезианских вод был принят геолого-структурный принцип. Этот же принцип положен М. М. Васильевским в основу схемы гидрогеологического районирования СССР.

Особенно отчетливо роль геологических структур сказалась по отношению к минеральным водам. Еще в 1899 г. в классической работе французского геолога де-Лонэ были даны примеры геологических условий распространения и выхода минеральных вод.

В 1934 г. А. М. Овчинников [16] выделил шесть типов структур районов минеральных вод в зависимости от сложности их положения в пределах платформ, пограничных областей платформ и складчатых сооружений. Была подчеркнута и роль определенных элементов тектоники (зон растяжений) в создании водообильных участков и благоприятных условий для выхода вод.

Гидрогеологическое районирование минеральных вод показало огромное значение для выяснения закономерностей распространения подземных вод не только типа геологической структуры, но и ее возраста. В пределах зоны альпийских деформаций развиты весьма своеобразные типы природных вод (углекислые воды, гидросульфидные азотные термы и т. д.). Три провинции минеральных вод, установленные Н. И. Толстихиным [30]: 1) углекислых, щелочноземельных бикарбонатных вод, 2) натриевых термальных вод, газирующих азотом, и 3) соленых и гипсовых вод — приурочиваются к определенным геотектоническим элементам.

На различные условия формирования вод на выступах и по окраинам мульд, по сравнению с осевыми частями впадин, указал В. В. Штильмарк [31]. Первые характеризуются лучшей дренированностью, большей выщелоченностью и являются областями развития пресных вод; вторые заключают высокоминерализованные хлоридные воды. В. В. Штильмарк отметил и значение длительности дренажа, вследствие чего свиты, подвергшиеся промыванию в предшествующие геологические эпохи, отличаются особенной интенсивностью его результатов.

Этим автором введено также понятие гидрогеохимического поля, представляющего геологический комплекс пород, для которого «характерным является не определенный химический тип вод, а возможность течения некоторого гидрогеохимического процесса». Для складчатых сооружений А. М. Овчинниковым был предложен термин «гидрогеохимическая зона». В соответствии с идеями академика А. Е. Ферсмана о геохимических полях и зонах, на базе геотектонической карты в 1936 г. под руководством А. М. Овчинникова [16] было проведено районирование минеральных вод СССР, при котором выделялись участки развития как минеральных, так и пресных вод. В последнее время Н. К. Игнатович [8] предложил положить в основу гидрогеологического районирования структурный принцип и степень динамичности.

1. По степени закрытости — структуры: а) раскрытые, б) частично раскрытые, в) закрытые.

2. По степени проточности — структуры: а) проточные, б) частично проточные, в) непроточные.

3. По степени промытости — структуры: а) промытые, б) частично промытые и промывающиеся и в) непромытые или засолоняющиеся.

Все эти понятия нуждаются в уточнении, однако несомненно перед гидрогеологами стоит задача гидрогеологической оценки геотектонических элементов на основе новейших представлений об условиях формирования подземных вод.

Необходимо также привлечь для решения вопроса количественные методы исследования колебательных движений земной коры, разрабатываемые А. Б. Роновым, так как эти движения определяют условия миграции и разгрузки подземных вод.

ГЕОТЕРМИКА

Тепловые условия подземных вод, в зависимости от положения их выше или ниже пояса постоянных годовых температур в коре выветривания или непосредственно в неразрушенных геологических структурах, хорошо определяют глубину циркуляции воды.

В работах С. А. Красковского [10] подводятся итоги геотермических измерений, произведенных в скважинах, колодцах и глубоких шахтах. Наблюдается удивительное разнообразие геотермических ступеней — от 1—2 м/°С и почти до 200 м/°С, что далеко отклоняется от обычно принятой средней геотермической ступени 33 м/°С. Закономерности геотермики, определяемые всей геологической историей земли, далеко еще не выяснены, хотя уже намечается определенная температурная зависимость для районов с различным строением. Вариации геотермической ступени (расстояния между изотермами) целиком определяются тепловыми свойствами пород и гидрогеологическими условиями, что позволяет анализировать правильность тех или иных построений. На участках с анормально небольшими ступенями обычно имеет место прорыв восходящими напорными водами (особенно в тектонически деформированных участках). Отсюда — практическое значение термометрических методов разведки. Следует предостеречь некоторых исследователей в том отношении, что производить экстраполяцию до высоких температур нужно с большой осторожностью. Современный баланс теплоты на поверхности земли характеризуется превалирующей ролью солнечного нагрева (солнечная постоянная 2 кал. на см² в минуту) по сравнению с выделением теплоты (41 кал. на см² в год). Это определяет состояние гидросферы в нашу эпоху. Однако, в прошлые эпохи соотношение было иное, о чем свидетельствует наличие постоянно мерзлых почв и горных пород — реликта древнего климата. Выяснившаяся в последние годы значительная глубина зоны вечной мерзлоты свидетельствует о том, что вековые колебания температур захватывают глубины значительно ниже пояса постоянных температур [29]. Деградация вечной мерзлоты может дать добавочные ресурсы подземных вод за счет перехода древних вод, находившихся в твердом состоянии, в жидкую современную воду.

ГИДРОХИМИЯ

Химический состав подземных вод объяснялся раньше составом горных пород, по которым циркулировала вода и выщелачивала те или иные соли. Постепенно в гидрогеологию стали проникать представления о древних погребенных и реликтовых водах (Хент, Лэн, Роджерс, Архангельский и др.), представляющих метаморфизованную морскую воду. Эти идеи, выдвинутые и поддержанные геологами-нефтяниками, подтверждаются палеогидрогеологическим анализом ряда районов — Днепровско-Донецкой впадины [13, 14], Сочи-Мацестинского района [16] и привели к выводу о том, что в формировании химического состава некоторых подземных вод должны, несомненно, принимать участие древние воды, сохранившиеся от прошлых геологических эпох. Следовательно, в настоящее время будет правильным принять следующее положение: химический состав подземных вод отражает геологическую историю района [19]. Большое

значение для понимания условий образования погребенных вод и метаморфизации химического состава морских вод имеют работы А. Н. Бунеева [3], который на основе изучения солевого комплекса горных пород различных районов наметил пути для распознавания процессов образования хлоридно-натриево-кальциевых, сульфатно- и гидрокарбонатно-натриевых вод. Им выдвинута интересная, несколько спорная гипотеза об изменении состава воды, которое должно происходить в мелководных морях при широких трансгрессиях. Вследствие наличия терригенного материала происходит коллоидно-химический процесс обмена адсорбции катионов натрия (элемент моря) на кальций (элемент суши):

$$2\,NaCl + Ca\ (адсорб.) \rightleftarrows CaCl_2 + Na_2\ (адсорб.).$$

В результате возникают хлоридно-натриево-кальциевые моря с пониженным отношением $\frac{r\,Na}{r\,Cl} < 0.85$.

При регрессии происходит обмен катионов кальция на натрий, и могут образоваться глауберовые и содовые воды:

$$CaSO_4 + Na_2\ (адсорб.) \rightleftarrows Na_2SO_4 + Ca^{\cdot\cdot}\ (адсорб.);$$

$$Ca(HCO_3)_2 + Na_2\ (адсорб.) \rightleftarrows 2NaHCO_3 + Ca^{\cdot\cdot}\ (адсорб.).$$

Большое значение для восстановления условий образования вод приобретает анализ состава погребенных мало подвижных капиллярных вод, изменившихся незначительно со времени попадания в горные породы. А. Н. Бунеев обратил внимание на важность изучения отношения $\frac{r\,Br}{r\,Cl}$, которое до начала кристаллизации NaCl остается в морской воде устойчивым и близким к океаническому (0.0015). Хлор-бромный коэффициент подземных вод расценивается гидрогеологами как руководящий генетический признак.

А. П. Виноградов [6] считает нормальное отношение $\frac{Cl}{Br}$ равным 300 и в соответствии с этим выделяет воды, производные а) от морской воды — $\frac{Cl}{Br} = 300$, б) от остаточной рапы морских озер — $\frac{Cl}{Br} < 300$ и в) от растворения отложений каменной соли и рассеянного в породах NaCl — $\frac{Cl}{Br} > 300$.

Не меньшее значение имеет изучение процессов обогащения вод микроэлементами.

На наших глазах вырастает новая отрасль — гидрогеохимия, которая вместе с гидрогеологией призвана решить важнейшие вопросы формирования подземных вод.

При интерпретации химического состава вод большое значение имеет применение физико-химических графо-аналитических методов обработки анализов (Щукарев, Палей и др. [20, 35]). Методы Роджерса и Пальмера оценки природных вод, как это указывали В. И. Вернадский и Н. Н. Славянов, служат лишь для грубой практической оценки

и классификации вод и, конечно, недостаточны для разрешения совре менных задач гидрогеологии [5, 22].

Вода представляет собой сложную систему с тесной взаимозависи мостью компонентов, подчиняющуюся общим законам теории раство ров. Необходимо учитывать активность ионов, концентрацию водород ных ионов, восстановительно-окислительный потенциал, ионную силу раствора и ряд других величин, облегчающих понимание истинной карти ны процессов формирования химического состава воды. Многообразие химического состава природных подземных вод объясняется процесса ми видоизменения двух основных типов — вод суши, в основном гид рокарбонатно-кальциевых, и вод моря — хлоридно-натриевых; сульфат но-кальциевые воды являются промежуточными. Процессы разбавлени вод, смешения двух вод, концентрирования, обменных реакций с поро дами, метаморфизация — все это сильно модифицирует основной со став воды, но в любых случаях характер процесса может быть опре делен. Степень минерализации воды (концентрация) является хорошим показателем химического типа. В районах молодого вулканизма на ос новной химический тип накладываются дополнительные признаки. Спе цифические особенности вносит наличие битумов и микробиологиче ская деятельность, с которыми связано появление бессульфатных вод нефтяных месторождений, богатых иодом, бромом, аммонием и други ми элементами [28]. При наличии рудных месторождений появляются кислые воды с редкими и тяжелыми металлами, которые удается об наружить спектральным анализом. Отсюда — большая роль подземны вод как поисковых признаков полезных ископаемых. Современная схе ма гидрогеохимической интерпретации подземных вод, составленная автором на основе вышеуказанных принципов, дана в отдельной таб лице (стр. 42—45).

ГАЗОНОСНОСТЬ

В. И. Вернадский первый обратил внимание на существующее в природе динамическое равновесие: горная порода ⇄ вода ⇄ газ ⇄ ⇄ живое вещество. В 1929 г. в докладе в Минералогическом обще стве [5] он предложил весьма рациональную классификацию всех при родных вод, основанную на газовом составе (воды кислородные, уг лекислые, азотные, метановые, сероводородные, водородные).

Классификация природных газов в развитие идей В. И. Вернадско го разработана в 1937 г. В. В. Белоусовым [1], который выделил 4 ге нетических типа природных газов: а) газы биохимического происхож дения (группа метана, сероводорода и т. д.), б) газы воздушного про исхождения (группа азота и др.), в) газы химические, в том числе ме таморфического происхождения (углекислота и др.), г) газы радио активного происхождения (гелий, эманация радия и тория). Система тизация материала по подземным водам показала, что первые три группы газов являются преобладающими по объему и хорошо контро лируют процессы, протекающие в различных районах. Однако при изу чении природных вод необходимо различать состав растворенных и свободно выделяющихся газов, который изменяется вследствие раз личной парциальной упругости и активности газов, входящих в смеси Большое значение имеет изучение дебита выделяемых с водой газов, который оказывает влияние на динамику воды (особенно для углекис

лых вод). Отнесение азота, выделяющегося из термальных вод, к га зам воздушного происхождения, может быть произведено на основе изучения соотношения его с аргоном

$$a = \frac{\text{Ar (газ)} \cdot 100}{\text{N}_2\text{ (газ)} \cdot 1.18}.$$

Для воздуха $a = 1$. Что касается углекислоты, то она насыщает огром ные районы подземных вод на участках молодой вулканической дея тельности и на участках проявления регионального метаморфизма, в зонах крупных деформаций по периферии области альпийской склад чатости.

ДИНАМИКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Динамика подземных вод изучалась главным образом для пористых однородных пластов. В ближайшие годы можно будет отметить сто летие со времени установления французским гидравликом Дарси ос новного закона движения воды и введения понятия о коэффициенте фильтрации. Дальнейшая разработка вопросов движения вод принад лежит ученым, среди которых особо следует выделить академика Е. Н. Павловского, среди иностранных — Дюпюи, Тим, Форхгеймер, Слихтер и др. Советские ученые внесли большой вклад в решение во просов расчета притока воды в колодцы, скважины и дренажи (Аль товский, Гиринский, Замарин и др.).

Большое значение для анализа динамики и режима подземных вод имеют работы Г. Н. Каменского [9], который дал основы этого анализа применительно к конкретным геологическим условиям (в неоднород ных породах). В его работах получил развитие вопрос о неустановив шемся или переменном во времени движении подземных вод, что поз волило разрешить ряд важных практических задач гидрогеологии, например — определение подпора грунтовых вод при устройстве водо хранилищ, метод прогноза режима грунтовых вод и т. д. В последнее время Г. Н. Каменский перешел к следующему этапу работ — выясне нию естественной динамики крупных бассейнов подземных вод. Им предложена интересная классификация бассейнов по особенностям их режима, исходя из соотношения области активной циркуляции и общей площади бассейна. В зависимости от коэффициента водообмена, пред ставляющего отношение годового расхода к статическим запасам под земных вод, выделяются структуры с различными гидрогеологическими условиями (грунтовые потоки, карстовые потоки с коэффициентом во дообмена больше 10, пластовые воды в малых структурах с коэффи циентом менее единицы и, наконец, крупные артезианские бассейны, водообмен которых совершается в сотни тысяч лет). Количественные критерии для оценки естественного режима бассейнов позволят уста новить и некоторые специфические особенности для артезианских бас сейнов и подземных вод иных структур с застойными участками. Пред ставления о зональности динамики подземных вод разработаны Б. А. Личковым [11], Ф. А. Макаренко, установившим трехчленную зональность на глубину для Сочи-Мацестинского района [12], и Н. К. Игнатовичем [8] на примере изучения подземных вод палеозоя Русской платформы.

Схема гидрогеохимической интерпретации

Зона	Группа вод по химическому составу	Газовый состав			Основной тип	Производный тип (разновидности)
		O_2N_2 воздушн.	$CH_4 \cdot H_2S$ биоген.	CO_2 метаморф.		
Окислительная (преимущественно воды выщелачивания с обменом катиона кальция на натрий)	I HCO_3'—$Ca^{\cdot\cdot}$ ($Na^{\cdot}$) гидрокарбонатные	1 ⊕ — — — →			Пресные гидрокарбонатно - кальциевые воды	Воды с повышенным содержанием натрия (в районах изверженных пород) или железа (в северных районах)
			2 ⊕ — — →		Слабо сульфидные гидрокарбонатно - натриевые воды	Воды более сложного состава с повышенным содержанием сульфатов
				3 ⊕ →	Углекисло - гидрокарбонатно-кальциевые воды	Углекислые гидрокарбонатно-натриевые воды
	II SO_4'' $Ca^{\cdot\cdot}$ ($Na^{\cdot}$) сульфатные	4 ⊕ — — — →			Сульфатно-кальциевые (жесткие) воды	Воды с повышенным содержанием натрия и магния (горькие воды)
			5 ⊖ — — →		Сероводородные сульфатно-кальциевые воды	Сульфатно - натриевые воды (глауберовые)

Таблица 1

условий формирования подземных вод

Общая минерализация	Геологическая структура	Гидрогеологический тип	Примеры (формула Курлова)
До 0.5 г/л	Кора выветривания разнообразных горных пород Четвертичные рыхлые отложения (в условиях гумидного климата)	Грунтовые воды и верховодка	Источник у Петрозаводска (Марциальные воды Карелии) $Fe_{0.0}\ M_{0.15}\ \frac{HCO^{3}_{96}}{Ca_{43}Mg_{37}}\ T_5°$
До 1.5 г/л	Мелкая трещиноватость в глинисто-мергельных флишевых породах	Пластово - трещинные слабо напорные воды	Ольгинский источник (у Туапсе) $HS'\ M_{1-2}\ \frac{HCO^{3}_{45}}{Na_{95}}\ T_{21}°$
До 2.5 г/л	Мелкая трещиноватость, пластовые деформации в карбонатных известняково-мергельных породах	Восходящие по трещинам газирующие воды с интермиттирующим режимом	Нарзан Чвижепсе (Красная Поляна) $CO^{2}_{1.9}\ M_{2.1}\ \frac{HCO^{3}_{95}}{Ca_{76}}\ T_{13.5}°$
До 10 г/л	Более крупные тектонические разрывы в областях развития складок и надвигов		Боржоми $CO^{2}_{1.1}\ M_{6.2}\ \frac{HCO^{3}_{85}}{Na_{85}}\ T_{29}°$
До 3 г/л	Четвертичные рыхлые отложения в условиях недостаточного увлажнения	Грунтовые воды и верховодка	Баталинский источник (КМВ) $M_{21}\ \frac{SO^{4}_{85}}{Na_{51}Mg_{43}}\ T_{10}°$
До 3 г/л	Кора выветривания глинистых горных пород, содержащих гипсы		
До 3 г/л	Известняковые толщи, подстилаемые красноцветными свитами (полого падающие или слабо смятые)	Карстово - трещинные и трещинно - пластовые воды	Краинка (Калужской обл.) $H_2S\ M_{2.3}\ \frac{SO^{4}_{87}}{Ca_{78}}\ T_6°$
До 10 г/л	Трещиноватые пористые горизонты при широком развитии глинистых пород и гипсов		Воды пермо-триасовых отложений (Кострома) $M_{9.4}\ \frac{SO^{4}_{89}}{Na_{83}}$

Таблица 1 (*продолжение*)

Зона	Группа вод по химическому составу	Газовый состав: O_2N_2 воздушн.	Газовый состав: $CH_4 \cdot H_2S$ биоген.	Газовый состав: CO_2 метаморф.	Основной тип	Производный тип (разновидности)
Окислительная (преимущест. воды выщелач. с обменом катиона кальция на натрий)	SO_4''—Ca'' (Na) сульфатные			6 ⊖→	Углекислые сульфатно-кальциевые воды	Углекислые воды сложного состава сульфатно-гидрокарбонатно-кальциево-магниевые или кальциево-магниево-натриевые
Восстановительная (преимущественно погребенные воды морского типа с обменом катиона натрия на кальций)	III	7 ⊖—		——→	Азотные термы хлоридно-натриевые, слабо минерализованные	Термы более сложного состава с наличием сульфатов и гидрокарбонатов
	Cl'—$Na^{\cdot}$ (Ca'') хлоридные		8 ⊖—	——→	Сероводородные метановые хлоридно-натриевые воды	Воды более сложного состава (азотнометановые) с повышенным содержанием хлористого кальция, иода, брома, солей радия
				9 ⊖→	Углекислые хлоридно-натриевые воды	Углекислo-хлоридно-гидрокарбонатно-натриевые воды Хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатные воды с повышенным содержанием мышьяка, иода, брома, бора

Общая минерализация	Геологическая структура	Гидрогеологический тип	Примеры (формула Курлова)
До 5 г/л	Моноклинально залегающие известняково-доломитные и пестроцветные (континентальные) толщи при наличии глубоких тектонических разрывов и неоинтрузий	Газирующие трещинные напорные воды в условиях артезианского склона	Кисловодский нарзан $CO_2\ M_{2.5}\frac{HCO^3_{50}SO^4_{29}}{Na_{87}}T_{14.1}^{\circ}$
До 1 г/л	Трещины и сбросы в туфогенных и изверженных породах (в гранитах)	Напорные трещинные (жильные) воды. (В засушливых районах грунтовые воды континентального засоления)	Азотные термы Абастуман $N_2M_{0.4}\ \frac{Cl_{52}SO^4_{39}}{Na_{58}Ca_{19}}\ T_{48}^{\circ}$
До 300—400 г/л	Крупные впадины и бассейны в краевых частях складчатых сооружений на платформах	Артезианские трещинно-пластовые воды в карбонатных комплексах с наличием битумов	Мацеста $H_2S_{0.15}\ M_{12.6}\frac{Cl_{95}}{Mg_{70}Ca_{14}}T_{27}$
До 30 г/л	Моноклинально залегающие и складчатые свиты, разбитые сбросами (при наличии очагов молодого метаморфизма)	Газирующие трещинные воды в условиях артезианских склонов и бассейнов	Ессентуки № 17 $CO^2_{1.6}\ M_{12.1}\frac{HCO^3_{50}Cl_{46}}{Na_{91}}T_{14}^{\circ}$

Для областей широкого и мощного развития осадочных образований выделены три гидрогеологические зоны.

Верхняя зона — активного водообмена и динамических ресурсов преимущественно пресных вод, средняя зона — затрудненной циркуляции — представлена обычно напорными водами повышенной минерализации, нижняя зона — застойного водного режима — характеризуется высокоминерализованными хлоридно-натриево-кальциевыми водами и рассолами.

Однако в ряде случаев, особенно в складчатых районах, имеются отклонения от предложенной схемы. Не отрицая роли динамики, нельзя не отметить, что универсальное выделение гидрогеологических зон требует для конкретных геологических районов многих поправок с точки зрения физико-химического анализа условий появления того или иного типа вод и учета геологической истории.

Внедрению основ современных гидрогеологических представлений в широкие круги специалистов много способствовало создание академиком Ф. П. Саваренским руководства по гидрогеологии.

Академик Ф. П. Саваренский, Б. В. Поляков и Ф. А. Макаренко провели детальное изучение соотношения поверхностного и подземного стока, и ими намечены районы стока и разгрузки вод для Европейской части территории СССР. Составление карты, иллюстрирующей направления подземного стока, позволит более точно решать вопросы зональности динамики подземных вод.

В общем представление о типах миграции вод и уменьшении скорости движения с глубиной (одновременно с уменьшением пористости пород) дано в схеме Г. А. Максимовича [15] (табл. 2). Для движения вод различного удельного веса, газа и нефти получено много интерес-

Таблица 2

Типы миграции воды различных геосфер (по Г. А. Максимовичу)

Типы миграции воды через геосферу	Геосфера	Воды	Скорости движения воды	
			в различных местах	в м/год
Минутный	Атмосфера (тропосфера)	Переносимые воздушными течениями	3—30 м/сек.	$n\times10^8$—$n\times10^9$
	Гидросфера	Речные, морские, океанические течения	0.3—3 м/сек.	$n\times10^7$—$n\times10^8$
Суточный	Биосфера	В деревьях, человеке	0.05—2.5 м/час.	$n\times10^2$—$n\times10^3$
Годовой	Кора выветривания	Грунтовые	3—30 м/сут.	$n\times10^2$—$n\times10^3$
Миллионнолетний	Стратисфера	Пластовые эпигенетические	1—10 м/год (условно)	$n\times10^1$—$n\times10^2$
		Пластовые, палеоэпигенетические и сингенетические	1 м/миллион лет (условно)	$n\times10^1$

ных данных Б. Н. Щелкачевым [33, 34], которым разработана теория интерференции скважин, заложенных на нефтяных месторождениях, и дан способ расчета. Вопросами залегания минерализованных вод и разгрузки их в долинах рек занимается А. И. Силин-Бекчурин [24].

Все эти представления о динамике существенным образом влияют на оценку ресурсов подземных вод. Наиболее интересные идеи в отношении оценки запасов артезианских вод, вызвавшие полемику, принадлежат К. И. Макову [13]. Этот автор предложил различать следующие категории подземных вод: а) вековые запасы напорных вод — гравитационная вода, могущая быть получена при осушении водоносного пласта, подсчитываемая объемным способом, б) естественные динамические запасы напорных вод — количество воды, протекающее

в единицу времени через поперечное сечение потока напорных вод, в) искусственные динамические запасы, определяемые количеством воды, откачиваемой из данного горизонта в отдельных пунктах эксплоатации при определенных положениях динамического уровня. Питание участков эксплоатации, по мнению К. И. Макова, происходит за счет вековых запасов, полностью при этом не восстанавливающихся. Для объективной оценки водоносности трещиноватых пород им рекомендуется пользоваться величиной удельной водоотдачи [14], представляющей удельный дебит, отнесенный к единице площади обнаженных водоносных пород в скважине. Кроме того, К. И. Маков дает примерные скорости движения воды в артезианских бассейнах, которые измеряются сотнями тысяч и миллионами лет. В дальнейшем эти величины подверглись уточнению, но подобного же порядка величины скорости движения вод были получены для других бассейнов.

В. А. Жуков, М. П. Толстой и С. В. Троянский [7], опубликовавшие в 1939 г. монографию по артезианским водам каменноугольных отложений Подмосковной палеозойской котловины, считают, что выделение категорий запасов, зависящих от емкости горизонта, крайне затруднительно и что термин «вековые запасы» является неудачным. По их мнению следует говорить о водных ресурсах, которые повседневно пополняются в областях питания и оказывают большое влияние на водообилие соответствующих водоносных горизонтов. Пополнение сказывается тем эффективнее, чем ближе располагается район разгрузки вод к области питания.

Способы подсчета ресурсов подземных вод по категориям А, В, С (в соответствии с принятыми категориями для полезных ископаемых) разработаны Н. А. Плотниковым, а также М. Е. Альтовским.

Для минеральных вод А. М. Овчинниковым [17] выдвинуто представление о месторождениях минеральных вод, находящихся в сложных динамических взаимоотношениях с окружающими водами и часто постепенно замещающихся пресными водами. В пределах благоприятных геологических структур, в водоносных комплексах может быть оконтурена своеобразная динамическая залежь, обладающая той или иной формой, изменяющейся во времени и в пространстве, в зависимости от естественных и искусственных причин. Автор применил такой же подход к воде, как это было сделано для нефтяных и газовых залежей И. О. Брод [2]. Для различных минеральных вод в настоящее время автором произведена систематизация типов месторождений, которая предусматривает учет всех элементов месторождений (геологическая структура, геотермика, гидрохимия, газоносность, динамика и режим). Динамика минеральных и пресных вод едина. Газовый фактор приобретает значение для углекислых и метановых вод непосредственно в местах вскрытия воды, где создается выделение свободного газа («газлифт»). Замечательным обстоятельством является то, что в местах разгрузки создаются общие для минеральных и пресных вод депрессионные воронки. Минеральные воды подтягиваются в места разгрузки в виде своеобразных языков (например: Кисловодский нарзан, Старая Мацеста и др.). Граница между минеральными и пресными водами представляет собой своеобразный «фронт», который все время меняется как в ходе геологического развития района, так и в зависимости от сезонных колебаний и от проведения буровых и опытных работ.

РАДИОАКТИВНОСТЬ

Большие перспективы перед гидрогеологами открывает изучение радиоактивности подземных вод. Дальнейшее развитие гидрогеологии во многом зависит от уточнения методов определения радиоэлементов в водах. Радиоактивными называют воды, содержащие радиоактивные элементы в измеримом количестве. Практика показала, что особого внимания заслуживают воды, в которых содержатся соли радия в количестве порядка более 10^{-11} г/л или радон в количестве более 3.5 единиц Махе. Воды эти связаны с определенными геолого-минералогическими условиями. Если при наличии этих условий на поверхности не имеется радиоактивных источников, радиоактивные воды могут быть обнаружены путем неглубоких разведочных работ, сопровождаемых эманационной съемкой.

Распад радиоэлементов, измеряемый точными периодами, позволяет устанавливать возраст воды. Как известно, В. П. Савченко [23] предложил пользоваться отношением $\frac{He}{Ar}$ в газе, растворенном в воде, как критерием для определения абсолютного возраста воды (так как обогащение гелием происходит при длительной миграции воды в породе). Им дана следующая упрощенная формула:

$$\frac{He}{Ar} \cdot 7.71 \cdot 10^7 = \text{абс. возраст.}$$

Подсчеты, произведенные по этой формуле, показали практическую ценность этого метода, хотя в общем результат получается несколько условный и приблизительный, скорее указывающий на соотношение вод. Кроме того, в природе мы обычно сталкиваемся со смесью вод различного возраста, что вносит большие искажения в определение истинного возраста. Имеется также метод определения возраста радиевых вод, предложенный В. И. Барановым и И. Д. Курбатовым на основе изучения соотношения радиотория и мезотория 1 [26].

Сейчас мы только можем предполагать о дальнейших путях развития радиогидрогеологии, но несомненно, что перед этой отраслью открывается большое будущее, и нам необходимо стремиться обеспечить тесную организационную связь в работах гидрогеологов и радиологов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, гидрогеология вступает в новый этап своего развития. Являясь наукой комплексной, широко заимствующей методику из сопредельных отраслей знания, она постепенно выработала свои принципы и методы, применение которых на практике обогащает и материнскую науку — геологию.

Необходимо добиваться улучшения методики гидрогеологических исследований и оснащения работ новейшей аппаратурой. Это касается более широкого внедрения геофизических методов разведки, использования самопишущих приборов для регистрации режима вод, а также улучшения методов химического анализа подземных вод и газов, использования спектрального анализа, позволяющего быстро и точно определять не только основной состав, но и микроэлементы, являющиеся

важнейшими корреляторами геологических условий. Одновременно необходимо развивать микробиологические методы изучения с количественным учетом различных видов бактерий (окислительных, восстановительных).

В зарубежных странах значительные результаты в области изучения условий формирования подземных вод достигнуты в США, особенно по водам нефтяных месторождений. Тщательно изучаются грунтовые воды, влияющие на гражданское и промышленное строительство. В военные годы в американских журналах появляются карты состояния грунтовых вод на определенные промежутки времени. Ряд интересных работ имеется по водам молодых вулканических областей (по термам Иеллоустонского парка, Лассен, Аляски др.).

Во Франции проводились тщательные исследования редких газов, выделяемых из термальных вод, а также изучалась динамика газов углекислых вод (Арман). Немецкая гидрогеологическая литература освещает главным образом грунтовые воды.

Проблема формирования подземных вод в том широком аспекте, который намечен в настоящей работе, может быть поставлена и разработана только в СССР. Успех дальнейшего изучения формирования подземных вод и будет зависеть от того, насколько комплексно удастся обеспечить работу над различными разделами этой проблемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Белоусов. Очерки геохимии природных газов. ОНТИ, 1937.
2. И. О. Брод. Об основных принципах классификации нефтяных и газовых залежей. ДАН СССР, 1944, т. XIV, № 6.
3. А. Н. Бунеев. К вопросу происхождения основных типов минерализованных вод в осадочных породах. ДАН СССР, 1944, т. XV, № 6.
4. М. М. Васильевский. Схема основного гидрогеологического районирования Европейской части СССР. Сов. геол., 1939, № 7.
5. Акад. В. И. Вернадский. О классификации и химическом составе природных вод. Природа, 1929, № 9.
6. А. П. Виноградов. О хлор-бромном коэффициенте подземных вод. ДАН СССР, 1944, т .XIV, № 2.
7. В. А. Жуков, М. П. Толстой, С. В. Троянский. Артезианские воды каменноугольных отложений Подмосковной палеозойской котловины. Тр. ВИМС, вып. 153.
8. Н. К. Игнатович. О закономерностях распределения и формирования подземных вод. ДАН СССР, 1944, т. XV, № 3.
9. Г. Н. Каменский. Основы динамики подземных вод. Госгеолиздат, 1943.
10. С. А. Красковский. Геотермические изменения в СССР (1928—1938 гг.). Тр. Комиссии по геотермике АН СССР, вып. I, 1941.
11. Б. Л. Личков. Основные черты классификации подземных вод. Исслед. подз. вод СССР, 1933.
12. Ф. А. Макаренко. Тр. Сочинской эксп. АН СССР, т. III, 1937—1939.
13. К. И. Маков. О методике подсчетов запасов подземных вод артезианского бассейна. Разведка недр, 1936, № 23.
14. К. И. Маков. О сравнительной оценке водообменности водоносных горизонтов. ДАН СССР, 1914, т. XIII, № 3.
15. Г. А. Максимович. Основные типы миграции воды на земле. Природа, 1943, № 2.
16. А. М. Овчинников. Геологические структуры районов минеральных вод. Сб. 5 I Всес. Гидрогеол. съезда. ОНТИ, 1934.
17. А. М. Овчинников. Основные закономерности распространения минеральных вод на территории Советского Союза. Вопр. курортол., 1939, № 5.
18. А. М. Овчинников. Проблемы изучения терм. Тр. МГРИ, т. XX, 1940.
19. А. М. Овчинников. Значение гидрогеологии в решении вопросов стратиграфии и тектоники. Сов. геол., 1940, № 2—3.

20. П. П. Палей. Физико-химическое изучение минеральных вод и лечебных грязей. Тр. центр. курортол., т. V, 1934.
21. М. М. Пригоровский. Артезианские воды Русской равнины. Изв. Геол. ком. 1922, № 1, Л.
22. Н. Н. Славянов. Эквивалентная форма выражения анализов воды и ее применение. Изд. Геол. ком., 1933.
23. В. П. Савченко. К вопросу о геохимии гелия. Природные газы. Сб. 9, 193
24. А. И. Силин-Бекчурин. О куполообразованном залегании минеральных во в долинах Камы и Волги. Сов. геол., 1941, № 4.
25. А. Н. Семихатов. Подземные воды СССР. Ч. I, Госгеолиздат, 1934.
26. И. Е. Старик. Радиоактивные методы определения геологического времени ГОНТИ, 1938.
27. И. Е. Старик. Радиологическое изучение районов Кавказских минеральных во Изв. Акад. Наук СССР. Отд. хим. наук, № 6, 1943.
28. В. А. Сулин. Воды нефтяных месторождений СССР, ОНТИ, 1935.
29. М. И. Сумгин, С. П. Качурин, Н. И. Толстихин, В. Ф. Тумель. Общ мерзлотоведение. Изд. Акад. Наук СССР, 1940.
30. Н. И. Толстихин. В вопросу о провинциях минеральных вод СССР. Зап. Л нингр. горн. инст., т. XII, вып. 2, 1939.
31. В. В. Штильмарк. Краткий очерк гидрогеохимических полей минеральных в Европейской части РСФСР. Сб. Тр. Горьковск. физиотерапевт. инст., вып. II, 193
32. Е. С. Щепотьева. Об условиях обогащения природных вод радием и его из топом. ДАН СССР, 1944, т. XIII, № 7.
33. В. Н. Щелкачев. Основы подземной нефтяной гидравлики. Гостоптехизда 1945.
34. В. Н. Щелкачев и Г. Б. Цыхачев. Интерференция скважин и теория пл стовых водонапорных систем. Аз. Гонти, 1939, Баку.
35. С. А. Щукарев. Попытка общего обзора грузинских вод с геохимической точ зрения. Тр. Инст. курортол., т. V, 1934.

Ф. А. МАКАРЕНКО

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО СТОКА

Статья является кратким содержанием вступительной части доклада автора, прочитанного на расширенном заседании Лаборатории гидрогеологических проблем Академии Наук СССР в апреле 1946 г. В ней рассматриваются только общие закономерности процессов формирования подземного стока, выявившиеся на основе регионального его изучения в пределах территории Русской равнины и некоторых горных стран Средней Азии и Кавказа. Данные изучения подземного стока, относящиеся непосредственно к перечисленным территориям, подготавливаются к печати в следующих томах трудов Лаборатории.

Понятие о «подземном стоке» возникло уже в глубокой древности, вместе с представлениями о «круговороте» воды на земле. Древние натурфилософы, рисуя «циклы» обращений воды на земле, развивали одновременно представления и об ее «пробеге» в недрах. Некоторые схемы древних близки к современным. Таковой является, например, известная схема древнеримского писателя Марка Витрувия Поллио, жившего в I веке до нашей эры. Особенно интересны представления о воде древнеримского поэта-философа Лукреция Каруса [5]. В его сочинении «О природе вещей» развиты понятия о природе воды, в том числе воды подземной.

Точные знания о процессах круговорота подземных вод и подземного стока накапливались более медленно. Гидрогеология еще и сейчас окончательно не вышла из стадии описательной науки, а описательному направлению в гидрогеологии понятия о «процессах» подземных вод не могли быть близки.

Термин «сток» означает *движение* жидкости и в этом содержании хорошо известен. В гидрогеологии он понимается в этом же смысле, но не применяется для названия процессов движения воды в недрах. Чаще им называют *величину* дренирования подземных вод на поверхности или *явление* дренирования. В связи с последним использованием термина, им именуются места или области дренирования подземных вод, обычно называемые «областями подземного стока» [7]. Можно видеть, что понятие о *процессах* или *движении* воды в горных породах в этих определениях термина исключено.

Автор называет «подземным стоком» процесс передвижения гравитационных вод в горных породах — в пластах, бассейнах и трещинах — от источников питания к местам разгрузки (расходования). Соответственно этому определению, понятие о подземном стоке распространяется на те пространства и глубины земной коры, откуда возникает питание его систем.

В сравнении с аналогичным процессом — поверхностным стоком, по земный сток — процесс несоизмеримо более крупный. Количество во находящихся одновременно в состоянии подземного стока, превышает сотни раз количество всех поверхностных вод суши.

Основываясь на принятом давно уже наукой положении о том, ч подземные воды составляют «звено» в большом круговороте воды земле [10], следует считать, что все подземные воды, находящиеся жидком свободном состоянии, находятся одновременно в состоянии по земного стока. Движение их возникает как снизу, ввиду мобильност твердой коры, синтеза и выделения вод из минералов, так и сверху, по влиянием наружных гидростатических давлений, которые в силу неро ности рельефа поверхности нигде не эквипотенциальны. Огромную вспо могательную роль выполняют элементарные водные круговороты и те ловая конвекция. Роль последней в формировании большой динами подземных вод пока недостаточно учитывается. Между тем, даже в предельных равнинах глубокие воды только в силу тепловой конвекци энергично вовлекаются в широкий атмосферный круговорот, а еще раньше — в системы гравитационного подземного стока.

По В. И. Вернадскому [2], в пределах первых 20—25 км толщи зе ной коры воды составляют по весу 6—8% к весу толщи. Значительн часть из них находится в свободном состоянии. Приближенное изучен объема гравитационных вод в 5-км толще блока суши показало, ч здесь они составляют около 1.9% к объему блока или 14×10^6 км^3, п количестве всех вод в нем до 12%, или 85×10^6 км^3. Для вычислен использованы данные Г. Берга о каменном составе 16-км толщи кор данные Ф. Кларка и Вашингтона о среднем содержании химически св занных вод в породах, данные Ф. П. Саваренского и др. о содержан пленочных и капельножидких вод в различных горных породах [1, 15]. При расчетах осадочные породы 16-км толщи, составляющие в около 5% по весу, отнесены целиком к толще 5 км, поскольку ниже значение невелико. Табл. 1 и объяснение к ней показывают абсолютн цифры различных вод в породах главнейших групп.

В более глубоких зонах коры количество капельножидких вод, уч ствующих в стоке, должно относительно других ее состояний увелич ваться; возможно некоторое абсолютное увеличение, так как, с нараст нием на глубину давлений, уменьшается возможность существования больших глубинах парообразной фазы [9], а с увеличением темпер тур — в свободное состояние должны постепенно переходить пленочн и химически связанные воды, составляющие, по Кларку, в среднем ставе пород 1.86% по весу.

В грандиозном механизме подземного стока земной коры автор в деляет следующие главные генетические ветви: а) ветвь г л у б и н н первичных или собственно «ювенильных» вод, возникающих качестве одного из продуктов кристаллизации подкоровой матери б) ветвь м а г м а т и ч е с к и х вод различного первичного происхож ния, возникающих локально («ювенильные» воды Зюсса), в) вет м е т а м о р ф и ч е с к и х вод также различного первичного генезис в том числе выделяющихся при механическом диагенезе осадков, г) ветвь м е т е о р н ы х вод, имеющих уже региональное развитие, преимущественно не проникающих ниже средних глубин осадочной гипергенной оболочки коры.

Различные генетические системы подземного стока характериз

Таблица 1

Запасы подземных вод 5-км толщи земной коры в пределах площади суши[1]

Состояние вод	Распределение в млн. км^3				Общие, в млн. км^3	Общие, в % к объему толщи	Соотношения, в %
	Известняки	Песчаники	Глинистые породы	Изверженные породы			
1. Жидкие воды	0.2	4.5	36.2	8.6	49.5	7	58.6
а) Свободные	0.1	2.7	5.2	5.7	13.7	1.9	16.2
б) Связанные	0.1	1.8	31.0	2.9	35.8	5.1	42.4
2. Химически связанные .	0.2	0.9	5.1	28.7	34.9	5.0	41.4
Все состояния	0.4	5.4	41.3	37.8	84.4	12%	100%

ются особым водным и химическим режимом и несут различные геохимические влияния на окружающую среду. Глубинные ветви стока разгружаются в преобладающей части непосредственно в океан; в виде мощных систем они возникают вдоль глубинных тектонических нарушений земной коры и существующих вулканических поясов. Воды метеорного стока разгружаются преимущественно в пределах суши, но в некоторой части выводятся также д а л е к о в пределы океанических погружений материков. Максимальные глубины океанического дна — самый низкий базис дренирования метеорного стока. В стороны материков этот базис повышается, следуя очертаниям средних глубин гипергенной зоны.

Величины подземного стока на поверхность, выражающие одновременно р е с у р с ы подземных вод и к о л и ч е с т в а их подземной работы, назывались до сих пор только в отношении к малым площадям. Эта работа шла, главным образом, по линии гидрологических исследований рек. Данные неточны, причем анализ их показывает, что они неизменно занижены, так как выводятся по меженному стоку рек [3], когда и подземный сток в реки минимальный или преимущественно минимальный. Применяя наш способ[2] вычисления величин подземного стока в реки,

[1] По Г. Бергу [1] в 16-км толще коры породы распределяются следующим образом по весу к толще: известняки 0.2%, песчаники 0.7%, глинистые 3.7% и изверженные 88%. Цифры выведены из 93.06% (6.94% гидросфера + вес 15 км атмосферы); при перечислении на 100% осадочные породы составляют в сумме около 5%, а изверженные 95%. Приняты следующие средние пористости: изверженные породы 1.5%, сланцы и глины 35%, песчаники 25%, известняки 5%; при учете пористости, следующие объемы пород, в млн. км^3, в том же порядке: 574.4; 103.5; 17.9; 4.2 или в процентах: 82.0; 14.8; 2.6; 0.6. Эта же пористость взята для определения жидкой воды. Полагаем, что для сланцев и гранитов объем пустот завышен, а для известняков занижен (учитывая их микропористость). Но изменяя даже значительно эти цифры пористости, запасы жидких вод будут в абсолютной цифре варьировать мало (цифра сохранится в пределах 40—60 млн. км^3). Устойчивость цифр определяется процентным соотношением объемов пород в 5-км толще.

Количества химически связанных вод выведены, по данным Ф. Кларка [15]: известняки 0.77%, песчаники 1.63%, сланцы 4.99%, изверженные породы 1.15% (к весу пород). Вероятно в эти цифры у Кларка частью вошли физически связанные воды.

Менее точно разделены жидкие воды на «свободные» и «пленочные». Имеющиеся данные о свободной водоотдаче различных пород не позволили достаточно ориентироваться в выборе средних цифр; общий же порядок соотношений этих вод, нужно полагать, правдоподобен. Все цифры уточняются.

[2] См. следующую статью в этом сборнике «О подземном питании рек».

было найдено, что в реках территории Русской равнины и особенно в реках горных стран подземные воды составляют, как правило, более 50—55% к общей величине их стока. Равную примерно цифру дают транспирация и испарение подземных вод непосредственно в атмосферу. В связи с указанным можно считать, что средняя величина подземного стока с пределов суши близка к среднегодовой величине стока рек в мире, т. е. лежит в пределах цифры 30 000 км³. Весьма важно уточнение этой цифры и последующее введение в уравнение большого водного баланса земли.

Сравнение общих и возобновляемых запасов подземных вод в 5-км толще блока суши позволяет, до некоторой степени, судить о средних темпах возобновления гравитационных вод в этом блоке, а тем самым и о темпах или средней динамичности подземного стока данного блока. Сейчас получается цифра 500 лет; она показывает средний «возраст» метеорных вод в блоке, но как средняя цифра она мало характерна, хотя все же ясно свидетельствует, что динамичность подземных вод суши в сотни и тысячи раз менее значительна, чем динамичность вод поверхностного стока.

Нашу примерную цифру подземного стока составляют в основном воды метеорного происхождения. Проблематично устанавливается участие в стоке подкоровых, или собственно «ювенильных» вод, в размере 0.0003% к общей его величине или около 1.0 км³ в год. Цифра получается из принятия двух положений: а) относительного постоянства объема океана в геологическое время и б) возникновения в геологическую эру твердой коры, в которой, по В. И. Вернадскому [2], содержится в настоящее время примерно столько же воды, как и в океане. Цифра характеризует абсолютный средне-годовой прирост воды на земле в геологическое время.[1] Она до некоторой степени может также характеризовать темпы формирования гипотермальных руд, и по этому ее более обстоятельное изучение могло бы представить самостоятельный интерес. Интересны другие, уже геофизические проблемы, которые возникают в связи с вопросом об этих водах.

Место метаморфических вод в балансе подземного стока неясно. Роль магматических вод местами должна быть значительна. В очагах зарождения магм, при среднем содержании в породах всех вод по весу около 5.0% (см. табл. 1), возникают к поверхности грандиозные системы стока магматических вод. Магмы живут геологическое время, и геологическое время действуют эти системы.[2] Участие магм, вероятно, значительно в формировании ряда специфических терм. Нужно, однако, различать: стадию начального развития магм (плавление пород), когда в термы выводится вода, которая ранее находилась в порах пород и в химическом составе минералов, и стадию остывания (кристаллизации) магм, когда возможен к ним и приток воды из окружающих пространств, далее частью расходующейся на строение минералов, а частью вовлекаемой в виде перегретых струй к поверхности и здесь нередко образующей гейзеры.

[1] Для вычисления «ювенильного» стока продолжительность геологической эры принята 2 000 млн. лет, что, при содержании воды в океане 1 400 км³, составит годовой прирост «ювенильной» воды, более точно, в размере 0.7 км³ (средний за геологическое время). В настоящее время «факт» постоянства воды океана большинством исследователей приводится в виде аргумента к утверждению отсутствия притока первичных вод с глубины.

[2] Цифра всех глубинных систем стока к общей его величине вероятно меньше 1%.

Геологическая роль механизма подземного стока хорошо вскрывается, если гравитационные подземные воды рассматривать в свете воззрений В. И. Вернадского [2] о водных оболочках земной коры. В этом замечательном и глубочайшем его обобщении о природных водах оболочка капельножидких вод должна так или иначе проникать всю твердую кору и, находясь в «стоке», тем самым выступать в твердой коре главной движущей силой ее бесчисленных химических процессов и главным фактором миграции ее химических элементов. Можно считать, что участки земной коры, «запретные» для этого процесса, химически инертны или во всяком случае существенно инертны против участков, проникнутых его энергией. Здесь обнаруживается глубокое значение для науки разработки проблемы механизма данного процесса. Функции последнего, во всем их значении в развитии земной коры, можно сравнить лишь с функциями обращения крови в живых организмах.

Капельножидкая, охваченная подземным стоком, оболочка земной коры проникает во всех пространствах остальные ее водные оболочки: твердую, пленочную, оболочки химически связанных и парообразных вод, из которых первая имеет наименьший глубинный интервал распространения.[1] Воды этих оболочек, естественно, не инертны к стоку.

Механизмом вовлечения малоподвижных вод в системы стока и атмосферный круговорот является элементарный обмен водных частиц между водами тех и других водных оболочек. Системами элементарных бесчисленных водных круговоротов охвачена одновременно вся масса природных вод в твердой коре — всех их агрегатных оболочек. Через элементарные круговороты вещественный состав различных водных оболочек непрерывно обновляется. Обновляется, следовательно, и вещественный состав вод подземного стока — обычных гравитационных. Этот существенный момент в истории подземных вод мы обычно упускаем, хотя нам ясно, что процесс идет в грандиозных масштабах, так как в грандиозных же масштабах идут процессы выщелачивания горных пород, процессы миграции твердого вещества и процессы нарастания минерализации самих гравитационных вод, при движении их в горных породах. Ввод твердых веществ в системы стока очевидно был бы невозможным, если бы не существовало широкого обмена, с одной стороны, между пленочными водами, обволакивающими минералы, и веществом самих минералов (в том числе с химически связанными водами) и, с другой стороны,— между теми же пленочными водами и гравитационными водами подземного стока. Пленочные воды «неподвижны» лишь в понимании их как «пленки», как своеобразной «водной оболочки», и —

[1] Все же в районе вечной мерзлоты вода-лед проникает до глубины 500 м и ниже [11]. Пленочные воды должны переходить в свободное состояние преимущественно уже до глубины пояса температур 100° С или в среднем — до глубин 2.7—3.0 км, если исходить из градиента нарастания температуры на глубину 30—33 м/° С. В этом же интервале глубин переходят, в значительной части, в свободное состояние «цеолитные» воды (в понимании их по В. И. Вернадскому) и воды кристаллизационные. До нижней границы твердой коры проникают кроме «свободных» жидких вод только «конституционные» воды минералов. Однако в этом состоянии вода уже целиком теряет свою минералогическую индивидуальность.

Проблема глубины развития водных оболочек в коре затрагивается здесь впервые. Ее изучение позволит уточнить многие представления о природе и истории подземных вод. Кроме гидрогеологического значения, она представляет интерес для познания механизма химических реакций на больших глубинах, где твердое вещество не защищено от влияния перегретой жидкой воды пленкой «физически-связанных» вод, в связи с чем процессы между водой и породой идут иначе.

подвижны в вещественном составе. Они подвижны, в силу только что указанного, далеко в глубь кристаллического вещества.

В сопряжении механизм «подземного стока» и механизм «элементарных водных круговоротов» являются тем общим механизмом в земной коре, который обусловливает широкую миграцию ее химических элементов. Второй механизм вызывает начальную стадию миграции химических элементов — химические процессы [14].

По интенсивности нарастания минерализации вод стока вероятно можно найти и действительные масштабы, а также скорости протекания многих химических процессов в земной коре, затем — действительные размеры и темпы взаимного обновления водных масс между малоподвижными водными оболочками и водами, находящимися в состоянии подземного стока.

Сопоставляя неодинаковую подвижность одних и других агрегатных вод в литосфере, когда на одном полюсе они «инертны» — прочно входят в строение кристаллического вещества (вода-лед, конституционные воды), на другом — подвижны, участвуют, вовлекаясь в сток, в гигантских циклах общеземного круговорота, получаешь представление о двуполюсности общего механизма подземных вод. Материальная непрерывность этой характерной особенности их механизма обеспечивается указанными только что вспомогательными механизмами элементарных водных круговоротов.

Из всего предыдущего вытекают два чрезвычайно важных вывода, которые сводятся к следующему: а) воды, находящиеся в состоянии подземного стока, т. е. обычные или «гравитационные», и воды пленочных состояний или «физически связанные», а также частью химически связанные — являются разновозрастными в своем элементарном составе; б) процессы формирования подземного стока являются существеннейшими процессами формирования водного и химического состава подземных вод.

На базе этих обобщений возникают новые понятия и представления о «возрасте» и «происхождении» подземных вод. Из второго обобщения следует, что процессы «формирования» подземных вод могут быть правильно поняты в каждом отдельном случае лишь через анализ процессов формирования подземного стока, совмещающего в себе всю историю обычных или гравитационных подземных вод и определяющего многие стороны истории остальных малоподвижных вод в недрах. Второе обобщение заставляет, прежде всего, с осторожностью относиться к теориям и гипотезам о «реликтовых — иловых» водах, особенно в тех случаях, когда эти воды сосуществуют вблизи систем активного подземного стока. Ясно, что из оболочки пленочных вод в сток вводятся воды прежних циклов круговорота, в том числе нередко сингенетичные осадкам, тогда как часть вод стока захватывается взамен той же пленкой физически связанных вод. Здесь еще раз следует подчеркнуть, как важно найти пути определения размеров этих явлений.

Подземный сток — многокомпонентная система. Его естественные составляющие — «вода», «минеральные вещества» и «растворенные газы» — проходят подземный путь с различной скоростью. В движении воды непрерывно нарушается равновесие этой многокомпонентной системы. Нарушения неизбежны, так как непрерывно изменяется термодинамическая и физико-химическая обстановка. При движении воды растворов вверх начинается его дегазация. Одновременно происходит выпадение из него части растворенных веществ в виде солей и также одновременно часть последних, опускаясь в прежнюю термодинамическую обстановку, растворяется снова. Это увеличивает минерализацию более глубоких вод. В результате система стока дифференцируется в своем вещественном составе в целом, когда более быстрыми темпами проходят подземный путь газы, затем вода, с частью растворенных солей, и медленнее завершают подземный пробег наименее устойчивые в воде растворенные компоненты. Процесс физико-химической дифференциации систем подземного стока является, повидимому, одним из главных в формировании глубинных рассолов. Подобную дифференциацию подземных вод вызывает также и тепловая конвекция, активизирующая динамику подземных вод в условиях предельных равнин и вовлекающая их выше в системы активного стока.

Подземный сток выступает в недрах, таким образом, и движущим фактором миграции веществ и фактором, регулирующим их миграцию в себе самом.

Остановимся далее на некоторых региональных особенностях механизма подземного метеорного стока.

Выше было отмечено, что осадочная оболочка земной коры — стратисфера — проникнута преимущественно водами метеорного стока. Ориентировочные количества этих вод в оболочке, как показывает табл. 1, близки к 14×10^6 км и в стоке на поверхность они преобладают. Средний нижний уровень метеорного стока следует, естественно, проводить по некоторой нижней границе гипергенной зоны литосферы, мощность которой и определяется, нужно полагать, глубинами проникновения метеорного стока, поскольку он является главным фактором гипергенеза ниже поверхности земли. Примерно эту глубину можно считать близкой к 5 км; В. И. Вернадский [2] допускает среднюю глубину распространения гравитационных вод до 6—8 км.[1] Под океанами гипергенная зона уменьшается до минимальных размеров, так как влияния метеорного стока сюда далеко активно не проникают даже через артезианские горизонты, в силу общего замедления движения воды в них под океаническими пространствами.

Также было подчеркнуто, что базис метеорного стока поднимается в сторону материков, вслед за отметками рельефа, повторяя нижнюю границу высокой пористости и тектонической раскрытости верхней литосферы.

Ведущая роль подземного стока в формировании гипергенной оболочки земной коры характеризует одну из важнейших сторон его геохимической сущности. Столь же существенны влияния внутренней дифференциации процесса на развитие и преобразование проникнутых им пространств и на эволюцию самих подземных вод, составляющих организм подземного стока.

Характернейшим и все более обнаруживающимся структурным элементом подземного стока в гипергенной оболочке коры является его гидродинамическая дифференциация на глубину и в горизонтальном направлении. Геологические условия распределения движущих-

---

[1] В. И. Вернадский имеет в виду сохранение пористости и значительной открытости трещин на эту глубину. Трещины глубинных разломов с их глубинными водами должны итти ниже.

ся вод, т. е. их расчленение на бассейны и горизонты стока, эту законо
мерность не нарушают.

Эта дифференциация или зональность процесса вызывается дренирующими базисами стока, в качестве которых высту
пают уровень моря и эрозионные врезы в пределах суши, отражающи
на материках влияния первого базиса (13).

Схема пространственной дифференциации подземного стока осадо
ной и гипергенной оболочки сводится к следующему.

а) Суша — выступы земной коры над уровнем моря, имеюща
среднюю мощность около 700 м, охвачена более динамичным подземны
стоком, чем ниже расположенные пространства коры; по отношению
ней уровень моря, влияющий в глубине материков через эрозионный вре
выступает той гранью, ниже которой динамичность подземного сток
неизменно резко уменьшается в силу влияний его подпора.

б) В пределах суши сток неизмеримо более динамичен в горны
странах, чем на равнинах, на всю глубину гипергенной оболочки; по
верхность равнины выступает второй такой гранью по отношению
горам, выше которой дренирование подземных вод обеспечено лучше
так как лучше раскрыты бассейны подземного стока.

в) В пределах горных стран и равнинных территорий сток резко рас
слаивается на глубину, в зависимости от дренирующего влияния местны
и региональных эрозионных врезов; при многоярусной сети последни
можно выделить несколько вертикальных зон подземного стока, вс
более динамичного к поверхности, по мере нарастания в эту сторон
частоты дренирующего среза рек.

г) В пределах высокогорных стран, где нижняя поверхност
метеорного стока поднимается выше уровня моря и, тем более
выше дренирующей равнины, динамичные здесь метеорные воды
непосредственно сочленяются с водами глубинных систем подзем
ного стока. Несколько слов о гидрогеохимической значимости этог
факта мы скажем ниже.

В качестве главных для всей земли отчетливо выделяются на глуби
ну следующие три зоны подземного стока и подземных вод.

1. Верхняя — наиболее динамичного или «активного» стока, с нисхо
дящими водами, направленными к местным эрозионным врезам рек и
полнее, чем все ниже находящиеся воды, отражающими широтные и пе
риодические изменения режима атмосферы и ландшафта (выше местно
го эрозионного среза рек).

2. Средняя — замедленного стока, с водами более стабильными в ре
жиме и более упорядоченными в смысле направленности водных пото
ков, направленных преимущественно в сторону региональных дренирую
щих поверхностей и нисходящих только к ним (ниже первой, но выше
региональных эрозионных врезов или уровня моря).

3. Нижняя — относительно застойных вод, неизменно восходящих и
не реагирующих или почти не реагирующих на периодические влияния
атмосферы и общую смену климатических поясов (более глубокие воды).

Пространственные очертания названных зон стока весьма сложны,
так как они отражают поведение эрозионных врезов, сливающихся в
сторону конечных базисов в один уровень с ними. Вместе с слиянием
эрозионных врезов к конечным водоемам, выклиниваются постепенно в
эту сторону и обе верхние зоны; из них верхняя, кроме того, выклини
вается в сторону водораздельных линий поверхности. Понятно, что

мощности верхних динамичных зон чрезвычайных значений достигают только в высокогорных странах и что в плане эти зоны ограничиваются территориями, занятыми горными странами, тогда как на равнинах общая мощность их невелика, в том числе верхняя зона составляет здесь относительно тонкую пленку на малоподвижных водах нижней зоны.

Нетрудно также понять, что отдельные бассейны стока верхней и средней зон оконтуриваются на глубину и в горизонтальном направлении исключительно эрозионным врезом и в пределах этих контуров характеризуются каждый раз своим собственным балансом и режимом. Критерий балансовой самостоятельности и определяет каждый раз «гидрогеологический бассейн». Бассейны же нижней зоны, как и направленности ее стока, определяются только геологоструктурными элементами и местоположением областей дренирования этих вод. В каждом артезианском бассейне подземных вод, если таковой поднимается в верхние зоны и продолжается в зоне нижней, бортовые его части находятся в условиях гидродинамического режима верхней зоны, погружения — в области динамического режима средней зоны, а глубокие части — в пределах застойного водного режима нижней зоны. То же можно сказать в отношении каждого горизонта подземных вод. Верхняя зона в бортах артезианских бассейнов составляет области их питания.

Области питания и дренирования верхних зон, вернее — каждой из двух верхних зон, неизбежно в плане совпадают, тогда как нижней — могут находиться на значительных расстояниях одна от другой. Это характерное их различие. Отметим также, что в литературе обычно области дренирования подземных вод называют областями «подземного стока» [7], с чем нельзя согласиться при рассмотрении «подземного стока» как процесса; в каждом бассейне подземных вод, находящихся в разгрузке и возобновлении, мы выделяем следующие естественные элементы: а) области питания, б) область стока и в) область или области дренирования подземных вод.

Впервые роль базисов дренирования (эрозии) на формирование подземных вод, хотя и не в разрезе анализа данного процесса, была широко рассмотрена Б. Л. Личковым [6]. Но он выделил всего две различные по динамичности зоны на глубину: верхнюю — выше местного эрозионного среза, широко отражающую зональные влияния поверхностных факторов, в связи с чем названную им «зональной», и нижнюю — лежащую ниже и «азональную» к ландшафту и климату. Он же впервые и глубоко показал влияния вертикальной динамической зональности подземных вод на формирование их химического состава и пришел к выводу о необходимости только на этой базе строить генетическую классификацию подземных вод. Идеи Б. Л. Личкова и более ранние высказывания В. С. Ильина [1] долгое время не находили внимания в гидрогеологии.

Мы показали более сложную схему зональности процесса. Следует говорить минимально о трех зонах подземного стока и подземных вод на глубину, а в целом — о пространственной дифференциации подземного стока. К трехчленной дифференциации процесса и его зональных влияний на развитие подземных вод и окружающей среды автор пришел, при этом также около десяти лет на-

[1] В. С. Ильин. Карта грунтовых вод Европейской России и ЦЧО, 1925 г.

зад, при изучении условий формирования минеральных вод артезианского бассейна Сочи — Мацесты [13]. Здесь эта схема вытекала из изучения режима, химии, баланса и геологической деятельности подземных вод бассейна, прослеженных особенно полно на процессах карстования, на режиме и химии вод. Эта трехчленная схема зональности процесса обнаружена и широко подтверждена позже Н. К. Игнатовичем [4] на подземных водах палеозоя Русской платформы и другими исследователями в ряде новых территорий, хотя если у Б. Л. Личкова автора она строго базируется на анализе роли базисов дренирования в дифференциации подземных вод на глубину, то последующие исследователи значению последних — главной причине дифференциации вод — не уделяют и теперь еще необходимого внимания.

Верхняя зона, при ближайшем ее рассмотрении, обнаруживает сложное внутреннее расслоение, особенно в горных странах: в ней можно выделить ряд слоев подземного стока, все более динамичных к поверхности, вызываемых уровенным положением малых эрозионных врезов. Кроме того, в ней особо выделяется слой стока между высоким и низким стояниями уровня грунтовых вод, в связи с этим названный нами слоем «сезонного стока». Сезонная срезка этого слоя показывает изменения запасов и ресурсов во времени. [1]

Начатое нами в 1944 г. зональное изучение подземного стока на глубину в пределах Русской равнины, ряда горных бассейнов Кавказа и Средней Азии, затем ранее изученная нами его зональность в бассейне артезианских вод Мацесты и в пределах моноклинали меловых известняков района пятигорских лакколитов и, наконец, теоретический анализ влияний базисов дренирования на динамику подземных вод,— все это позволяет сказать следующее в части комплексной характеристики и комплексных различий зонального профиля данного водного процесса стратисферы и гипергенной оболочки.

Верхняя зона. Расслаивающаяся дополнительно, эта зона подземного стока питается исключительно нисходящими водами атмосферы, в соответствии с чем наиболее резко отражает ее режим. Будучи расчлененной на малые блоки эрозионной сетью, она в каждом блоке является самостоятельным гидрогеологическим объектом, с своим водным балансом, что и определяет ее гидрогеологическую самостоятельность.

Непостоянный режим зоны обусловлен также неограниченными возможностями разгрузки ее вод. В связи с последним обстоятельством, в хорошо фильтрующих средах, она в периоды прекращения атмосферного питания во многих территориях совершенно пересыхает; говоря иначе, здесь она на всю глубину является зоной или слоем «сезонного стока». Тем самым зона характеризуется непостоянными запасами и ресурсами вод и, соответственно, резкими колебаниями модулей подземного стока во времени, конкретно выражающими ее естественные водные ресурсы.

Нисходящие атмосферные воды, обогащенные воздушным кислородом, почвенной CO_2 и органическими почвенными кислотами, создают в ней резко выраженную окислительную геохимическую обстановку, что, вместе с высокой динамичностью ее вод, характеризует ее как зону интенсивного и преимущественно окислительного

[1] Под «ресурсами» подземных вод и подземного стока мы подразумеваем расход их «запасов» в единицу времени («запасы» — общий фонд).

выветривания земной коры, особенно в горных странах, всегда лучше расчлененных. Разносторонний характер движения ее вод (в стороны местных эрозионных врезов) определяет своеобразную направленность миграции продуктов ее выветривания.

Как подчеркнул Б. Л. Личков [6], зона «зональна» к влияниям климата и ландшафта, глубоко повторяет смену климатических и ландшафтных поясов и глубоко отражает режим сезонных климатических изменений, особенно в наиболее раскрытых местах.

Зона интенсивно промывается местными метеорными водами. Поэтому почти всегда достаточно промыта от растворимых солей. Это обеспечивает преобладающе низкую минерализацию ее вод, с типами вод в средних и северных широтах, преимущественно гидрокарбонатно-кальциевых, а в южных — переходящих в сульфатные и хлоридные, наряду с общим ростом их минерализации. Весьма характерным является, что зона «азональна» в химическом составе вод к химическому составу горных пород, что объясняется обычно высокой выветрелостью последних.

С наиболее раскрытыми местами зоны совпадает на глубину зона непостоянных температур земной коры [8], что мы особо подчеркиваем, зона резкого окислительного выветривания рудных тел, окисления нефтяных залежей. Минералогия тех и других должна повторять микрослоистость водной динамики зоны, а минералогические «ареалы» — векториальную направленность токов ее вод.

Эту зону подземного стока мы называем зоной «грунтового стока» и «грунтовых вод», отбивая тем самым нижнюю границу последних на уровне эрозионного вреза рек. Этот уровень точно определяет каждый раз нижнюю границу распространения тех вод, которые мы привыкли называть «грунтовыми», но для которых часто вовсе не находим этой границы при попытках отбить ее по первому от поверхности водоупорному слою. [1] Несомненно, что этот критерий не может лежать в основе, т. к. в крутопадающих слоях и трещиноватых породах этот слой вообще отсутствует, а ниже эрозионного вреза жизнь и режим подземных вод совершенно иные. Вместе с тем, в других местах, на глубину до эрозионного вреза (откуда неизбежно начинается иной режим вод) нередко можно насчитать несколько водоупорных слоев, хотя режим вод ниже каждого из них и впредь до глубины эрозионного вреза остается прежним, а все воды неизменно нисходящие. Важно, конечно, не название вод зоны, а их особый от нижних вод облик и режим. Однако такой случайный, а не естественный и руководящий, признак их выделения мешает найти успешный путь их генетического изучения. Отбивая их снизу глубиной эрозионного вреза, мы как будто бы находим такой путь.

Средняя зона. Вполне обеспеченная питанием из верхней зоны и характеризующаяся несравнимо меньшими возможностями разгрузки своих вод, она обладает более стабильным водным и химическим режимом, постоянными водными запасами и более устойчивыми во времени ресурсами. Слабее промытая, она обеспечивает также более высокую минерализацию вод подземного стока, чему способствует одновременно и более длительное нахождение ее вод в горных породах.

Химически зона резко выделяется от верхней, но только на равнинах, как повышенной минерализацией вод, так и химическим их составом,

[1] Наиболее принятое определение в СССР.

сдвигающимся в сторону сульфатных вод и нередко — хлоридных, в горных же странах она все еще остается обычно зоной слабо минерализованных гидрокарбонатно-кальциевых вод.

В среднюю зону обычно не проникает кислород воздуха. В связи с этим обстоятельством ее геохимический режим восстановительный, жизненный — анаэробный. Однако и в этом отношении она неодинакова на равнинах и в горах. Указанная только что ее геохимическая характеристика типична лишь для равнинных территорий, при этом — для слабо расчлененных равнин, с породами достаточно тонкодисперсными, т. е. характеризующимися слабой фильтрацией. В горных странах она нередко все еще целиком окислена, либо характеризуется мозаичным распределением окислительных и восстановительных участков.

Более упорядоченная направленность подземного стока средней зоны характеризует сравнительную устойчивость путей миграции продуктов работы ее вод.

На равнинах это — зона цементации рудных месторождений, в горах — в условиях пустынного климата, где верхняя зона нередко безводна, является зоной интенсивного выноса материалов разрушения рудных тел и горных пород, с характерными здесь «концентрами» [14] вторичных минеральных отложений, вытянутых преимущественно в одну сторону «языками», с зональным расположением в них вторичных ассоциаций, уже объясняемым различной устойчивостью в растворах соединений, а также сменой физико-химической обстановки. Речь идет, естественно, о схеме зависимостей между направленностью подземных потоков и миграцией продуктов их выщелачивания и выноса.

Воды средней зоны можно называть переходными к водам верхней зоны, ближе стоящими к ней в горных странах; на равнинах зона приближается по гидрогеохимическому профилю к нижней зоне. Воды зоны на равнинах более «зональны» к химическому составу пород, чем к влияниям атмосферы и ландшафта.

Нижняя зона. Это зона застойного водного режима. Застойность понимается относительно, по отношению к верхним зонам; на самом деле и она широко промывается подземными водами, являясь зоной гипергенеза. Но, в зависимости от степени минерализации ее вод, она в местах наиболее «застойных» становится зоной аккумуляции водных солей, заполняя продуктами выпадения поры и трещины горных пород. Здесь мы видим еще одну «деталь» грандиозной геологической работы подземного стока и уже на больших глубинах.

Высокая минерализация вод нижней зоны обусловливается слабой химической промытостью ее пород, более высокими температурами, повышенными давлениями и более длительной связью ее вод с горными породами. Типичный тип ее вод — хлоридно-натриевые воды, с переходом, при дальнейшем нарастании минерализации, в тип хлоридно-натриево-кальциевых и магниевых вод. В породах, ранее промытых, формируются менее минерализованные гидрокарбонатно-натриевые воды (щелочные), являющиеся все же только переходными к хлоридным.

Зона характеризуется восстановительным геохимическим режимом как на равнинах, так и в горных странах. Если в средней зоне мы наблюдаем только признаки присущих ей газов, то здесь они характеризуют геохимическую специфику зоны. Будучи «запретной» для кислорода воздуха, она является зоной интенсивного

сероводородного брожения и заражения, зоной развития углеводородных газов, биогенных CO_2, N_2 и H_2S.

Химический режим зоны совершенно стабилен, а гидродинамический более стабилен относительно верхних зон; стабилизация режимов увеличивается к закрытым и глубоким частям бассейнов, как о том свидетельствуют данные изучения химического и водного режима глубоких вод в буровых скважинах.

Нижняя зона подземного стока — зона замедленного протекания всех водных процессов в геохимически восстановительной, анаэробной среде. Эти условия характеризуют и определяют весь особый жизненный профиль ее вод — режим их химического формирования. Зона «азональна» как к ландшафту и климату, так и к химическому составу горных пород. Очень существенно последнее.

Нами не обнаружено значительных отклонений от рассмотренной схемы зональности и зональных влияний подземного стока, определяющих одновременно его пространственную качественную дифференциацию и дифференциацию режимов формирования подземных вод. Установлено, что воды в нижней зоне Русской платформы — обычно высоко минерализованные и рассолы, в средней — переходные к нижним и верхним и в верхней — слабо минерализованные и пресные. В вышеназванном Сочи-Мацестинском артезианском бассейне они в нижней зоне — соленые, хлоридно-натриевые и сероводородные, стабильные в режиме, в средней — слабо минерализованные, бессероводородные или слабо сероводородные, а в верхней — окисленные кислородом воздуха — пресные, гидрокарбонатно-кальциевые.

Мы видели, что химический и газовый состав и высокая минерализация вод нижней зоны определяются, прежде всего, их особым динамическим режимом, но не являются признаком их «реликтовости», как многие считают.

Приведенные данные показывают, что подземные воды нельзя рассматривать и изучать вне зависимости от принадлежности их к той или другой зоне подземного стока. Жизнь и общий жизненный режим вод в каждой зоне совершенно различны, как различны геологические влияния подземных вод в каждой зоне. Между тем это обстоятельство до сих пор мало учитывается. Наши гидрогеологические карты не отражают эту зональность подземных вод. Обычно на гидрогеологические карты проектируются факты, принадлежащие разным зонам подземных вод — подземного стока. Эти факты в дальнейшем нередко экстраполируются между собой. Так, на многих современных гидрогеологических картах искажается действительная картина фациальных различий подземных вод на глубину и в пространстве.

Только качественная характеристика гидродинамической дифференциации рассмотренного процесса и его влияний еще недостаточна для пользования этими его закономерностями в практических целях и в теоретических исследованиях. Необходимо количественное выражение его энергетической сущности. Его энергетика — энергетика крупнейших процессов гипергенной оболочки.

На эту сторону изучения механизма подземного стока мы и обратили свое главное внимание при изучении «подземного стока» в Лаборатории гидрогеологических проблем и его определении как «процесса».

Было предпринято и сейчас продолжается зональное изучение баланса подземного стока, через выявление чисел которого

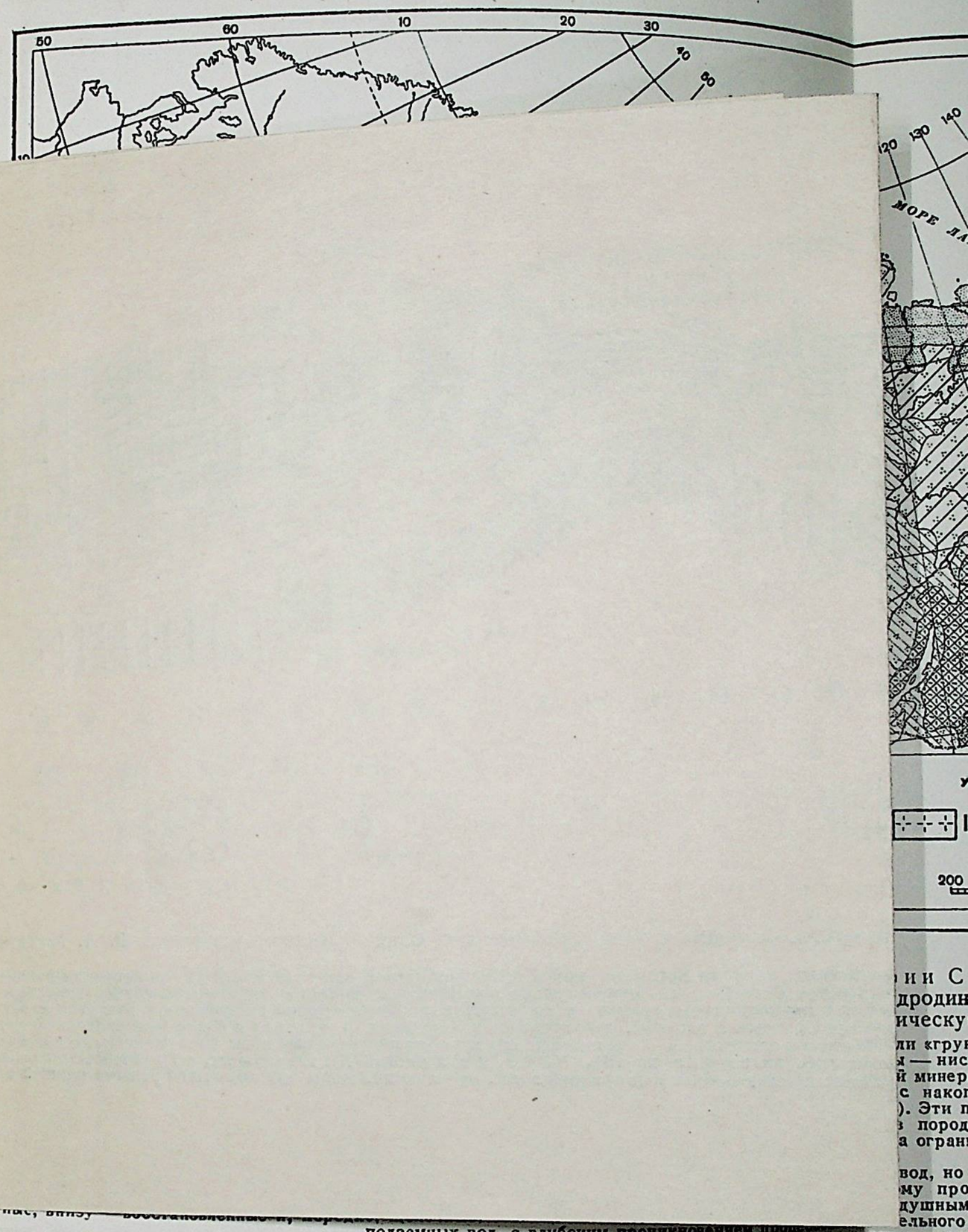
может быть установлена и его конкретная энергетика или е
динамика.

Баланс подземного стока изучался через выяснение величи
стока подземных вод на поверхность, в пределах крупных территори
крупных и малых бассейнов и зон стока. Этими исследования
охвачена вся территория Русской равнины, некоторые бассейны горн
стран Кавказа и территория Северо-Прикаспийской низменност
Одновременно в тех же бассейнах изучаются общие запасы вод, на
дящиеся в стоке. Сопоставление общих запасов подземных вод
величинами их стока на поверхность позволяет судить о сроках
полного возобновления подземных вод в бассейнах и зонах стока, т.
сроки их возобновления — возраст подземной жизни воды
зонам; в сопоставлении они показывают относительные различия
динамичности в каждой зоне или их относительные энерг
тические различия. Иного пути работы в региональном изучен
динамики и энергетики работы стока мы не нашли.

До широкой постановки работ по означенной теме единствен
изученным у нас в СССР являлся в отношении подземного стока то
ко Сочи-Мацестинский бассейн артезианских вод, общий и подземны
баланс которого автором был достаточно полно сведен еще в 1937
[13] и в последнее время лишь несколько уточнен. Здесь, в толще ме
зойских известняков, воды завершают пробег по зонам в следующ
сроки: в верхней зоне — в дни и сезоны (чрезвычайно закарстована
толща), в средней — в сезоны (слабее и иначе закарстованная) и
нижней — в тысячелетия (региональный карст отсутствует). Тем
круговорота вод по зонам и, соответственно, их энергетика, как
возраст подземной жизни,— очевидно несопоставимы. Интересны м
дули подземного стока, которые здесь в верхней зоне равны 45
50 л/сек., в средней — единицы л/сек. и, реже, до 10—15 л/сек., а
нижней зоне не превышают 0.1—0.2 л/сек. Модули показыва
естественные ресурсы подземных вод зон и в своем соотношении св
детельствуют о том, что глубокая зона бассейна Мацесты (зона ми
ральных, термальных, сероводородных вод) воспринимает из област
питания, т. е. из верхней зоны, пресные воды в размере не более 1/2
части того их количества, которое принимает эта зона из атмосфер
остальные 249/250 частей ее воды разгружаются снова на поверхнос
здесь же; эти остальные воды верхней зоны показывают, между пр
чим, потенциальную обеспеченность питания нижней минеральной
зараженной сероводородом зоны. Это — потенциальные ресурс
нижней зоны, понятие о которых отсюда ясно выводится. Потенциал
ными они являются, естественно, только для нижней зоны, тогда к
для верхней — это действительные ресурсы. [1]

В пределах территории Русской равнины динамичность вод во вс
зонах стока более низкая, уступает горным странам в десятки и да
сотни раз, как показывают проведенные нами новые работы. Ре
Русской равнины, как можно судить только по их химическому сост
ву, питаются подземными водами, главным образом из верхней зон
стока. Изучение меженного стока рек крупных и малых бассейно

[1] В другой работе, подготавливаемой к печати, автор среди «ресурсов» подзе
ных вод различает: а) потенциальные, б) естественные и в) эксплоа
тационные; эксплоатационные ресурсы могут быть умножены обычно за с
потенциальных. Сейчас последние не учитываются в оценке действитель
возможностей эксплоатации подземных вод бассейнов.



подземных вод, с глубоким проникновением
III. Провинции с чрезвычайно глубоким развитием зоны активного или «грунтового» стока
ритории, включающие и области альпийской складчатости и неовулканизма). Слабоминерализованные воды по
обогащенные преимущественно воздушным N_2 и местами вулканической CO_2. Области наиболее глубокого
земной коры с выносом продуктов разрушения в первые провинции; на нижней границе верхней зоны и восхо
рогеохимические «противоречия», интересные в отношении формирования гидротермальных р
1. Зона «грунтового» стока < 200 м; 2. Зона «грунтового» стока < 500 м; 3. Зона «грунтового» стока
Мощности зоны «грунтового» стока одновременно показывают максимальные возможные глубины проникновен
ния в пределах территории.

всей территории и запасов вод зоны территории в крупных и малых бассейнах показывает, что сроки полного возобновления вод грунтовой зоны стока равнинных территорий исчисляются на равнинах не днями и сезонами, как некоторые считают, а десятками лет; в нижней зоне — десятками и сотнями тысяч лет (глубокие воды Днепровско-Донецкого бассейна, Подмосковной части Средне-Русской синеклизы — до Ярославля и др.), а также более значительными отрезками времени.

Примеры достаточно полно подтверждают наш тезис о глубоком различии динамичности подземного стока на глубину. Здесь же мы видим условность прежней средней цифры 500 лет, как срока подземной жизни метеорных вод в стратисфере и гипергенной оболочке коры.

Уменьшение динамичности подземного стока на глубину можно выразить в следующих коэффициентах:

1.0; 0.1—0.01; 0.001—0.0001,

где 1.0— коэффициент динамичности верхней зоны, следующие два — средней и остальные — нижней (цифры 0.1 и 0.001— коэффициенты горных стран). Мы их называем «энергетическими» коэффициентами подземного стока стратисферы и гипергенной зоны, так как они одновременно показывают резкие различия энергетики всех водных процессов на глубину. Можно видеть, что темпы развития всех водных процессов на глубину ниже базисов эрозии и тем более ниже уровня моря уменьшаются в десятки и сотни тысяч раз в сравнении с динамикой их выше базисов эрозии и дренирования подземных вод. Это необходимо учитывать в теоретических рассуждениях о темпах миграции химических элементов в земной коре, при изучении темпов подземной денудации территорий на различных глубинах, при изучении темпов накопления и разрушения месторождений нефти и рудных тел. Была бы чрезвычайно полезна более широкая работа в этой области. Она требует огромных напряжений и времени.

Снова обращаясь к пространственной дифференциации процесса, можно видеть, что глубоко расчлененные горные территории суши являются гидрогеохимическими антиподами по отношению к равнинным территориям стран не только в процессах поверхностной денудации, но и в процессах денудации подземной, а также, в равной мере, в истории подземных вод. По отношению к равнинам, с их преимущественно застойными водами на всю глубину стратисферы, восстановительным геохимическим режимом последних и медленным протеканием водных процессов,— горные страны выступают как области преимущественно высокодинамичного подземного стока, с интенсивной работой подземных вод и чрезвычайно мощной зоной[1] современной коры окислительного выветривания.

Если в пределах суши совершенно бессточные территории можно также рассматривать как области интенсивной подземной аккумуляции химических элементов, то в горных странах следует выделить, как мы уже упоминали, высокогорные территории, где метеорный подземный сток местами высоко динамичен на всю глубину осадочно-гипергенной оболочки. Эти территории суши в гидрохимическом и геохимическом отношении чрезвычайно интересны. Здесь, на значительной глубине, нисходящие метеорные воды, несущие глубоко вниз мощные окислительные влияния атмосферы, сочленяются непосред-

[1] Достигающей 1 500—2 000 м и больше.

ственно с системами восходящего глубинного стока — глубинными пе-
регретыми термами и металлоносными растворами, несущими геохими-
ческую специфику магматических очагов. Здесь возникают своеобраз-
ные «узлы» или «зоны» глубинных геохимических «противоречий», по-
добные тем, что нам известны на границе атмосферы и почвы, почв
и грунтовых вод, грунтовых вод (в нашем их понимании) и более
глубоких. Здесь формируются специфические углекислые тер-
мы, гидротермальные руды, о темпах развития которых мы
можем условно судить на основании вышеприведенной цифры о раз
мерах «ювенильного» и вообще глубинного стока. Следует учитывать
вместе с тем более высокое участие в восходящем глубинном стоке
магматических и метаморфических вод.

В заключение подчеркнем, что области замедленного метеорного стока — равнинные территории суши — совпадают повсюду с плат-
форменными территориями земной коры, тогда как противоположные
им горные области и зоны глубинных геохимических «противоречий»
накладываются всюду на зоны альпийского диастрофизма и на области
молодых вулканических проявлений.

Составленная нами в качестве первого опыта карта-схема подзем-
ного стока территории СССР (см. выше) отражает, в укрупненном плане
главнейшие черты его пространственной гидродинамической дифферен-
циации и его наиболее характерных закономерных влияний на форми-
рование подземных вод и как геологического деятеля. Карта дает
прогноз различных водных процессов на глубину и в горизонталь-
ном направлении, в том числе прогноз в пределах территории глу-
бины современной зоны активного окислительного
выветривания земной коры, гидродинамическую и газовую зональ-
ность подземных вод территории на глубину и в пространстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Берг. Геохимия месторождений полезных ископаемых (второе издание). ОНТИ НКТП СССР, 1937.
2. В. И. Вернадский. История минералов земной коры. История природных вод, ч. 1, вып. 1, 2 и 3, 1933—1934.
3. М. А. Великанов. Водный баланс суши. Гидрометеоиздат, 1940.
4. Н. К. Игнатович. О закономерностях распределения и формирования подземных вод. ДАН СССР, 1944, т. XV, № 3.
5. Лукреций. «О природе вещей» (перевод Ю. Кулаковского, Киев, 1887).
6. Б. Л. Личков. Основные черты классификации подземных вод СССР. Изд. Гос. гидрол. инст., вып. 2, 1933.
7. К. И. Маков. Подземные воды Причерноморской впадины. Гос. изд. геол. литер., 1940.
8. Ф. А. Макаренко. Геотермические условия района Кавказских Минеральных вод, 1940.
9. П. Ниггли. Генетическая классификация магматических рудных месторождений. Геолразведиздат, 1933 (перевод Я. Яковлева).
10. Е. Принц. Гидрогеология. Сельхозиздат, 1932.
11. М. И. Сумгин и др. Общее мерзлотоведение. Изд. Акад. Наук СССР, 1940.
12. Ф. П. Саваренский. Гидрогеология. 1935.
13. Труды Сочинской экспедиции Инст. геол. наук АН СССР, т. III (Ф. А. Макаренко, М. И. Врублевский и др.), 1937—1939 (в печати, Инст. геол. наук АН СССР).
14. А. Е. Ферсман. Геохимия, т. I, II. Госхимтехиздат, 1933—1934.
15. F. W. Clarke and H. S. Washington. The composition of the earth crust. V. S. Geol. Surv. Prof. Pap. Nr., 1927.

Ф. А. МАКАРЕНКО

О ПОДЗЕМНОМ ПИТАНИИ РЕК[1]

Характер подземного питания рек является функцией многих переменных. Геологические условия и климат, рельеф и экспозиция, растительный и почвенный покров определяют обеспеченность подземного питания рек, тогда как глубина и частота эрозионного вреза и, опять-таки, геологические условия профилируют динамику и величины подземного стока в реки.

Наилучшие условия для равномерного и интенсивного подземного питания рек создаются, при хорошей обеспеченности притока в питающие пласты, в районах глубокого и редкого речного вреза. Наименее обеспечены подземным питанием, при тех же условиях притока воды в пласты, реки районов с неглубоким и частым речным врезом.

В пределах суши хорошо выделяются территории: а) с преимущественным дренированием подземных вод в реки (глубоко расчлененные территории), б) с прямой и обратной направленностью связей между подземными водами и водами рек (слабо расчлененные местности, где уровень воды в реках занимает во времени и пространстве различные положения по отношению к уровню рек) и в) с преимущественным питанием подземных вод со стороны рек (предельные нерасчлененные равнины). Каждая группа территорий характеризуется одновременно особой направленностью геологической деятельности подземных вод (первые — области подземной денудации, вторые — денудации и аккумуляции и третьи — только аккумуляции).

Речная сеть первых территорий — естественная дренажная система, достаточно активно действующая только на глубину эрозионного вреза и вызывающая в зоне этого интервала глубин наиболее интенсивный подземный сток в реки. Эта зона строго дифференцируется в плане на отдельные бассейны подземного стока, водоразделы которых идеально совпадают с водоразделами речных бассейнов. Вывод вытекает из представлений о выклинивании глубин эрозионных врезов к водоразделам рек и уменьшения к ним мощности зоны.

Многоярусность эрозионного вреза вызывает дополнительное гидродинамическое расслоение подземного стока в реки. Поэтому следует говорить о нескольких зонах или слоях активного подземного стока в реки, замедляющегося более или менее резко ниже каждой эрозионной поверхности. В интервале между высоким и низким уровнями стояния грунтовых вод выделяется слой наиболее динамичного стока, названный нами слоем «сезонного стока». Срезка уровня этого слоя,

[1] Из доклада автора «О подземном стоке Русской платформы и связи его с поверхностным стоком» на Ученом Совете Лаборатории в октябре 1944 г.

за период отсутствия пополнения подземных вод, идет в значительной мере на питание рек. Очень важно точное определение расхода мощности этого слоя на питание рек, так как оно позволяет установить общую величину их подземного питания.

Почти повсеместно в пределах суши можно выделить три наиболее ярко выраженные зоны подземного стока в реки: 1) верхнюю — активного стока, с нисходящим и разно направленным движением вод, зональную [1] к смене климатических поясов и ландшафту, 2) среднюю — замедленного стока, с слабо напорным характером движения вод или тоже совершенно безнапорных, но с более упорядоченным направлением потоков и слабее реагирующих на влияния режима атмосферы, зональной к смене климатов и ландшафтов, и 3) нижнюю — относительно застойных вод, с весьма замедленными темпами движения, образующих лишь восходящие потоки к рекам и азональных к ландшафту и климатам, а также относительно инертных к влияниям режима атмосферы. Первая из них, как подчеркнул Б. Л. Личков [1], ограничивается на глубину уровенной поверхностью местного эрозионного вреза; в каждом эрозионном блоке она характеризуется своим водным балансом и в плане точно отвечает местным водораздельным линиям поверхности; вторая ограничена на глубину и в горизонтальном направлении глубинами и линиями эрозионного вреза крупных рек, а третья — нижняя — занимает более глубокие пространства земной коры. Водораздельные линии третьей зоны и направленности стока ее вод определяются только геологическими структурами и местоположением областей разгрузки вод.

Можно понять, что геологические условия лишь дополнительно усложняют эту зональность подземного стока, но не нарушают ее. Сейчас также широко устанавливается, что по зонам совершенно различны, как правило, химический и газовый состав вод,[1] темпы и направленности их геохимической деятельности. Последнее естественно, так как фактор движения воды управляет самыми разнообразными связанными с нею процессами.

Пользуясь указанными зональными различиями подземных вод, автор подсчитал для ряда равнинных и горных территорий СССР [2] участие вод каждой из названных зон в питании рек и, соответственно, вычислил темпы и сроки пробега метеорных вод в каждой зоне. Наиболее точно эта работа была проведена еще в 1937—1938 гг. в отношении бассейна минеральных вод толщи мезозойских известняков Сочи — Мацесты, где динамическая, химическая, газовая и общеэнергетическая трехчленная зональность подземных вод на глубину была установлена впервые и с общеэнергетической стороны достаточно полно прослежена на процессах карстования [2]. Здесь сроки подземного пробега вод по зонам, вычислявшиеся через сопоставление общих запасов вод по зонам и возобновляемой их части (ресурсов), оказались следующими: в верхней — дни (чрезвычайно закарстованная зона), в средней — сезоны (слабо и иначе закарстованная) и нижней — тысячелетия (не закарстованная). Также найдены модули подземного стока в реки по зонам, оказавшиеся равными: в верхней 45—50 л/сек., в средней — единицы и реже до 10—15 л/сек., а в нижней, здесь находящейся ниже уровня моря, 0.1—0.2 л/сек. Модули показывают

[1] См. в этом же сборнике статью «Некоторые результаты изучения подземного стока».

будто бы менее значительные различия темпов стока на глубину, чем цифры сроков возобновления вод по зонам. Но это только кажущееся впечатление, объясняющееся более крупными общими запасами подземных вод в нижних двух зонах.

Эти же соотношения различий величины стока в реки из каждой зоны хорошо выдерживаются в пределах всей территории Русской платформы, в последние годы изучающейся автором через подземный сток, с целью выяснения региональных условий формирования возраста и геологической деятельности верхних и глубоких вод этой территории. Но средние сроки подземного пробега метеорных вод в каждой зоне здесь удлиняются в десятки и сотни раз, затем, естественно, сильно варьируют в зависимости от частоты эрозионного вреза и фильтрующих возможностей пород. Удлинение сроков объясняется равнинным характером территории. Так, в бассейне Припяти и в пределах Днепровско-Донецкой мульды период подземного пробега вод в верхней зоне исчисляется в различных малых речных бассейнах сроками от 10 до 60 лет, а в нижней — около 100 000 лет. Сроки обмена воды в верхней зоне, преимущественно питающей реки, показывают обеспеченность подземного питания рек.

Приведенные цифры вполне подтверждают первый тезис о преимущественном питании рек из верхней зоны «активного стока». Модули подземного стока показывают, что даже в горных странах, где воды всех зон более динамичны, что объясняется здесь как лучшей расчлененностью рельефа, так и более высокими гидростатическими давлениями на каждую зону,— воды верхней зоны составляют от общей величины подземного стока в реки не менее 99.9%. Значительное участие более глубоких вод в реках заметно только на отдельных отрезках течения рек, но не на общем их балансе. Такие «прорывы» глубоких вод в реки имеют место, например, в районе Самарской Луки.

Глубинный предел активной связи подземных и поверхностных вод и совпадение бассейнов активного подземного стока в реки с речными бассейнами, затем активизация подземного стока в зоне активного подземного питания рек в стороны территорий с более частым и более глубоким речным врезом, а в целом — от равнинных к горным странам,— все это существенно ориентирует в решении многих практических и теоретических задач гидрологии и гидрогеологии, а также позволяет уверенно прогнозировать пространства водного и химического выноса в реки, даже исходя только из данных гипсометрии и анализа гидрографии и геоморфологии речной сети. Очевидно эти закономерности могут быть также положены в основу модулирования водного и химического выноса в реки и в основу естественного районирования подземных вод и подземного стока по ресурсам, режиму и химическому составу.

Горные страны суши, глубоко и интенсивно расчлененные, характеризуются, как страны весьма мощной зоны активного подземного стока в реки и интенсивной подземной денудации, тогда как равнины характеризуются лишь тонкой пленкой вод этой же зоны, лежащей на зоне вод относительно застойных и высоко минерализованных, с более стабильным режимом. Эту же дифференциацию процесса и в более тонком его расслоении можно проследить на малых территориях.

Зона активного подземного стока в реки, в связи с ее интенсивной промытостью, в средних широтах неизменно характеризуется водами

низкой минерализации, преимущественно гидрокарбонатно-кальциевого типа, и лишь в областях засушливого климата содержит воды минерализованные, с преобладанием ионов сульфатов и хлоридов натрия. Реки строго повторяют гидрохимический облик и смену гидрохимических зон. Соответственно, по химическому составу рек можно достаточно точно районировать химический состав вод зоны, а по аномалиям в химизме речных вод предполагать значительное участие в питании их глубокими водами. Недавно показанные Г. А. Максимовичем [3] «гидрохимические фации рек» являются одновременно «гидрохимическими фациями» верхней зоны подземного стока в реки.

Верхняя зона глубоко отражает периодические изменения режима атмосферы. В горных засушливых странах она в периоды отсутствия дождей, а в зимнюю межень и в странах с влажным, но холодным климатом, местами вовсе пересыхает. Это заставляет самым серьезным образом подойти к изучению режима подземного стока в реки. Достаточно, очевидно, учитывать режим верхней зоны стока. Кривые режима этой зоны вполне отражают источники нисходящего действия. Взяв последнее положение в основу, нами разработан следующий метод оценки величин подземного питания рек, учитывающий режим вод:

$$Q = qK_1 + \ldots\ldots\ldots + qK_n.$$

где Q — величина подземного стока в реку за заданное время с изучаемой площади; q — единичный расход или сток реки в межень, принимаемый за грунтовый; $K_1 \div K_n$ — коэффициенты режима стока, выводимые из кривой режима суммарного дебита опорных родников площади; K_1 принимается равным единице и отвечает времени межени на реках. Метод дает величины подземного стока в реки в 1.5—2.5 раза более высокие, чем если они выводятся обычным способом, т. е. по гидрографу общего стока рек. Принимая эти поправки, устанавливаем в первом приближении, что в суммарном годовом стоке рек Русской равнины подземные воды составляют не менее 50—55%. Метод позволяет также строить гидрографы подземного питания рек, причем и для тех рек, для которых известны только единичные меженные расходы. Последнее чрезвычайно важно, так как позволяет на этом основании приступить, через расчленение речного стока, к региональному изучению ресурсов подземных вод территорий, пользуясь только кадастровыми данными по речному стоку.

Максимум подземного стока в реки ложится обычно на вторую стадию паводочной волны. Между тем принято считать, что в период паводков подземное питание рек сводится к минимуму или вовсе прекращается. Здесь представления о временной остановке подземного питания главных русел рек, где оно, действительно, в ряде случаев имеет место в паводки (реки равнинных территорий), переносятся без оснований на весь бассейн. На самом же деле; даже и на этих отрезках течения рек, реки уже в паводочной волне или, во всяком случае, в второй ее стадии несут огромные количества подземных вод, дренированных и вынесенных в главные русла многочисленной сетью боковых притоков. Сейчас эта часть подземного питания рек не учитывается вовсе. Она составляется в основном водами «сезонного слоя» подземного стока, верховодкой и почвенными водами. С нею выносятся огромные количества химически растворенных минеральных и органических веществ. Следовательно ее учет необходим прежде всего при изучении темпов подземной денудации, в особенности в горных странах, где

нередко полное дренирование верхней зоны заканчивается сейчас же за спадом паводочной волны.

Рассмотренные закономерности подземного питания рек нами положены в основу начатой работы по региональному изучению и модулированию водного и химического стока в реки территории Русской платформы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Л. Личков. Основные черты классификации подземных вод. Исследов. подземных вод СССР, изд. Гос. гидрол. инст., вып. 2, 1933.
2. Ф. А. Макаренко и др. Тр. Сочинской бальнеологической экспедиции Института геологических наук АН СССР, т. III, 1937—1939.
3. Г. А. Максимович. Гидрохимические фации речных вод и их зональность. ДАН СССР, т. 37, № 5—6, 1942.
4. М. А. Великанов. Водный баланс суши. Гидрометеоиздат, 1940.

А. И. СИЛИН-БЕКЧУРИН

О ВЛИЯНИИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РАЙОНЕ УРАЛО-ВОЛЖСКОЙ ВПАДИНЫ НА УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНОГО СТОКА И НЕФТЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

В 1944 г. мной была начата разработка темы о формировании подземного стока в Урало-Волжской впадине. Фактического материала по этому вопросу мало. Отсутствует также достаточное количество разведочных работ и необходимых гидрогеологических наблюдений. Поэтому ряд соображений, высказываемых ниже о наличии подземного стока в глубоких частях палеозойского комплекса пород и о роли воды в формировании нефтяных залежей, следует расценивать как предварительные соображения, требующие в дальнейшем подтверждения новым фактическим материалом.

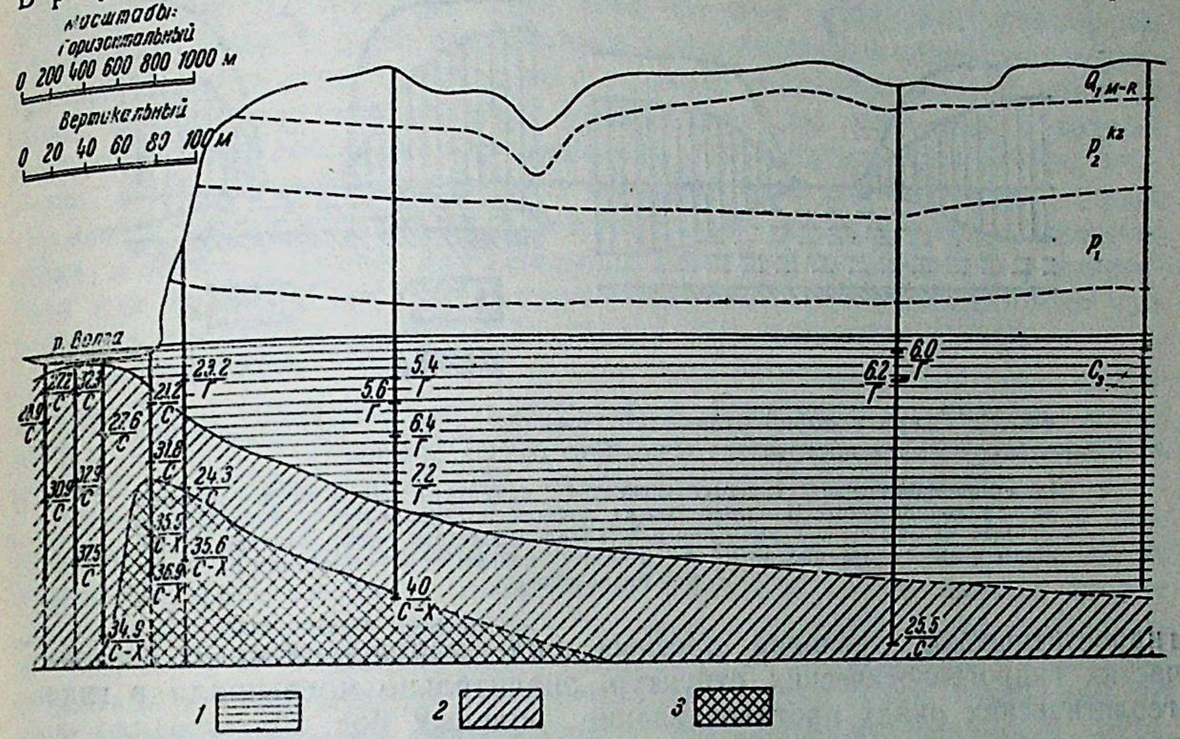
ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО СТОКА ПРИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЯХ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Колебательные движения земной коры могут быть представлены по современным воззрениям, вытекающим из принципов актуализма [6, 7, 14], в виде двух групп взаимо-связанных движений: орогенических и эпейрогенических. Под первыми понимаются восходящие движения большой амплитуды, начинающиеся в геосинклинальных областях и с них распространяющиеся с постепенным затуханием на платформы; под вторыми — восходящие и нисходящие движения малой амплитуды, происходящие одновременно в геосинклинальных областях и на платформах в одном или в различных направлениях. В результате орогенических движений происходит формирование на поверхности земли различных складчатых сооружений; в результате эпейрогенических движений происходит формирование пологих изгибов и пологих поднятий.

Орогенические движения приводят к резкому изменению рельефа земной коры и сопровождаются обычно механическими деформациями пород. В результате этих движений нарушается вся созданная ранее система гидродинамического и геохимического равновесия в подземных водах — происходит перемещение их областей питания и стока, сообщение между отдельными водонасыщенными комплексами пород по системам возникнувших или оживленных тектонических трещин, излив глубоко залегающих соленых вод, смешение этих вод в верхних горизонтах с пресными водами, дегазация соленых вод и их отток в ранее существовавшие или вновь возникшие области дренажа. В связи

этим периоды орогенеза являются периодами интенсивного водообмена; кругооборот воды в земной коре за это время усиливается.

Эпейрогенические движения также создают новые условия движения подземных вод. Изучение влияния эпейрогенеза на подземный сток впервые было начато К. И. Маковым [10] на примере Днепровско-Донецкой впадины. Он считает, что при положительных фазах эпейрогенеза в приподнятых частях суши происходит опреснение водоносных горизонтов, а в глубоких ее частях — отжим залегающих на глубине более тяжелых соленых вод пресными водами к областям дренирования. В результате отжима возникает медленное вековое перемещение пресных вод от областей их питания в сторону областей циркуляции, а от нее к областям стока. Отрицательные формы эпейрогенеза создают, в свою очередь, замирание движения по направлению к областям стока, а при отсутствии последних вызывают образование напорных вод.

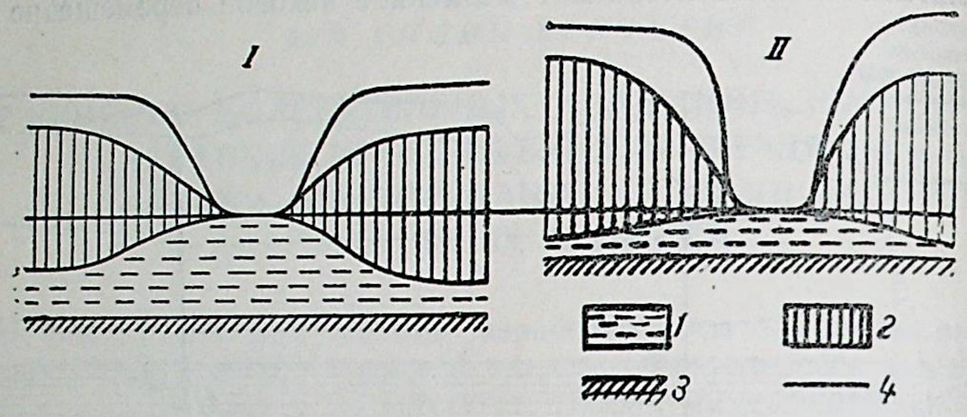


Фиг. 1. Гидрогеологический профиль через Сокско-Самарский водораздел.

1 — гидрокарбонатные воды (*г*); *2* — сульфатные воды (*с*); *3* — сульфатно-хлоридные воды (*с-х*); в числителе дроби указана минерализация воды в мг-экв., в знаменателе дроби — тип воды (*г*, *с*, *с-х*).

Наши работы по изучению гидрогеологии Поволжья и Приуралья позволили детализировать условия разгрузки соленых вод из гидрогеологических структур при эпейрогенических фазах колебательных движений земной коры. Мы считаем, что при этих движениях в областях разгрузок образуются куполообразные формы залегания соленых вод, перекрытых в их бортовых частях пресными водами. Так, например, в долинах рр. Волги и Камы, в районах строительства Куйбышевского и Соликамского гидроузлов Ф. П. Саваренским и нами были установлены куполообразные формы залегания хлоридных и сульфатных вод [13]. В качестве примера приводится гидрохимический профиль через Сокско-Самарский водораздел, на котором виден купол сульфатно-хлоридных вод в долине р. Волги (фиг. 1). Такие же формы куполообразного залегания соленых вод были установлены в дальнейшем на побережье Каспийского моря, в районе Жигулевской дислокации

на р. Волге, в устьевой части р. Северной Двины около г. Архангельска и в других местах. Во всех указанных случаях появление куполов соленых вод мы связываем с разгрузкой гидростатического давления подземных вод в местах их дренирования. Разгрузка могла происходить в углубляющихся или во вновь вырабатывающихся долинах рек, на морских побережьях, в пониженных платформенных участках при размыве на них водоупорных чехлов, в зонах тектонического дробления пород и т. д. Такие участки разгрузок подземных вод мы называем гидрогеологическими окнами. При этом в тех случаях, когда



Фиг. 2. Схема условий взаимодействия пресных и соленых вод при постоянстве основного базиса эрозии.

I — сформировавшаяся гидрогеологическая структура (стабилизированный рельеф земной коры); II — приподнятая гидрогеологическая структура (омоложенный рельеф земной коры при положительных фазах эпейрогенеза): *1* — соленые воды; *2* — пресные воды; *3* — нижний водоупор; *4* — постоянный основной базис эрозии.

гидростатическое давление пресных вод, находившихся в бортовых частях гидрогеологических структур, значительно превышало в гидрогеологических окнах противодавление соленых вод, происходило выдавливание и отток соленых вод через окна. При небольшой же разнице в напорах выдавливание и отток соленых вод были весьма малы. В этих случаях пресные воды только лишь скользили по поверхности соленых вод в направлениях от областей их питания к областям дренирования.

Последующие положительные движения земной коры, происходившие в периоды эпейрогенеза на платформах, вызывали подъем гидрогеологических структур. В связи с тем, что при этом подъеме основной базис эрозии подземных вод оставался постоянным, в гидрогеологических окнах уменьшалось противодавление соленых вод, в бортовых же частях структур гидростатическое давление пресных вод возрастало. В результате происходило увеличение разности напоров пресных и соленых вод, что вызывало в свою очередь усиление выдавливания соленых вод и их более интенсивный отток через гидрогеологические окна.

Схематически этот процесс представлен на фиг. 2. Одновременно в приподнятой структуре, в результате понижения местных базисов эрозии, происходило углубление русла речных долин, размыв и карстование, что также вызывало усиление стока подземных вод. Периоды положительных фаз эпейрогенеза на платформах являлись поэтому периодами усиления водообмена, но кругооборот воды при этом происходил в менее интенсивных формах, чем при орогенических движениях. Отрицательные эпейрогенические движения приводили к противоположным результатам.

При эпейрогенических движениях в геосинклинальных областях изменения подземного стока могли быть различными, в зависимости от строения геосинклинальной области, наличия в ней тех или иных ранее созданных структур, сопряженности эпейрогенических движений со складчатостью и от ряда других причин. Расшифровать все эти процессы не представляется возможным. Поэтому мы ограничиваемся частными случаями, рассматривая геосинклиналь как область, состоящую из ряда депрессий и сопряженных с ними приподнятых участков, расположенных выше уровня моря. При этом во всех наших построениях мы принимаем уровень моря постоянным. Одновременные опускания структур вызывали общую нивелировку рельефа геосинклинальной области; такая же нивелировка рельефа происходила при подъемах в депрессиях, сопровождавшихся сопряженными опусканиями приподнятых участков. В результате нивелировки рельефа и, в связи с этим, общего снижения напоров подземных вод затухала интенсивность подземного стока, а затем, в случае преобладания восходящего движения в депрессиях над нисходящими движениями приподнятых участков, могло происходить изменение ориентации стока в обратном направлении.

Одновременные подъемы структур или опускания депрессий, сопровождавшиеся сопряженными подъемами приподнятых участков, вызывали в свою очередь нарастание резкости рельефа в геосинклинальной области и тем самым усиление интенсивности подземного стока.

Таким образом, колебательные движения на платформах и в геосинклинальных областях могли создавать близкие по своему характеру изменения интенсивности подземного стока. В том и другом случае восходящие движения вызывали усиление подземного стока и нарастание интенсивности кругооборота подземных вод. Нисходящие движения создавали в свою очередь ослабление подземного стока, изменение его ориентации в обратном направлении и замедление интенсивности кругооборота подземных вод.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ПАЛЕОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ УРАЛО-ВОЛЖСКОЙ ВПАДИНЫ

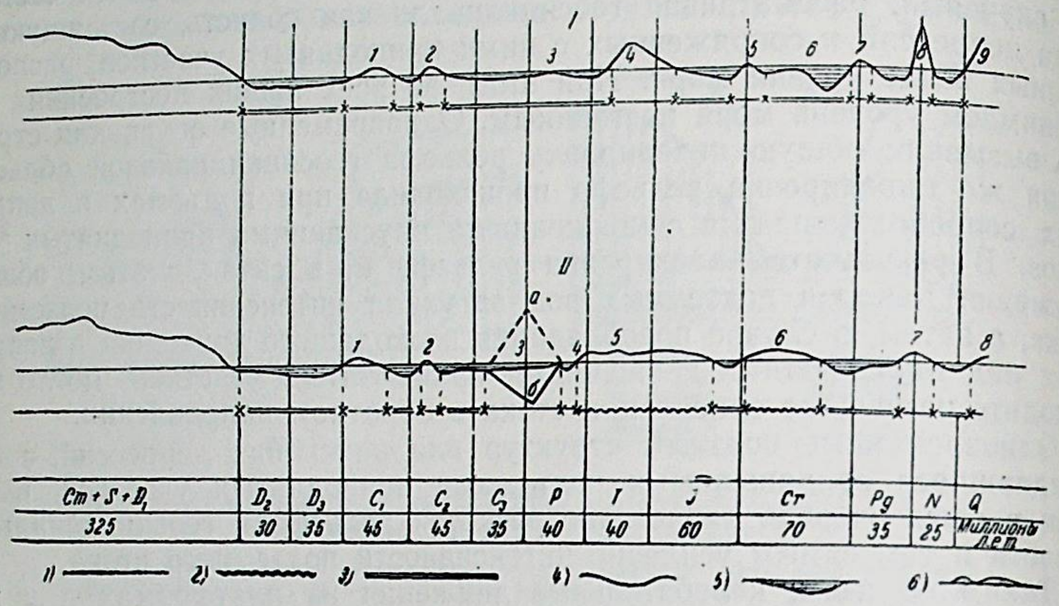
Обширная по своей территории и весьма сложная по своему геологическому строению Урало-Волжская впадина за последнее десятилетие покрыта, в отдельных ее районах, сетью эксплоатационных глубоких нефтяных скважин.

Проходка скважин и одновременное проведение комплекса геологических, геофизических и, частично, гидрогеологических работ позволили в настоящее время выяснить не только основные черты геологического строения этого района и его гидрогеологические условия, но также наметить и некоторые элементы его палеогидрогеологии. Характеристика их может быть дана в следующем виде.

Формирование Урало-Волжской впадины началось, повидимому, в среднем девоне, когда впервые на докембрийский кристаллический фундамент легли осадки среднедевонской трансгрессии. До этого периода сток поверхностных и подземных вод был ориентирован в восточном направлении — с докембрийской суши в сторону геосинклинального прогиба, располагавшегося на месте современного Урала.

Трансгрессия моря, получившая свое максимальное развитие в верхнем девоне, сопровождалась постепенным неравномерным прогибанием

дна впадины. Опускающиеся вниз осадки, напитанные соленой водой, представляли собой тот субстрат, за счет которого произошло в последующем формирование первичных седиментационных вод. Мы не имеем данных о солевом составе этих вод и не можем их восстановить по тем рассолам хлоридно-натриево-кальциевого типа, которые выводятся буровыми скважинами из девона, опущенного в настоящее время на глубину до 1500 м. Эти девонские рассолы, так же как и рассолы,



Фиг. 3. Ориентировочная схема колебательных движений земной коры в отдельных районах Урало-Волжской впадины.

I. Положительные движения земной коры в районе Самарской Луки: *1* — в угленосное время; *2* — в верейское время; *3* — в кунгуре; *4* — во время древнекиммерийской фазы складчатости; *5* — во время новокиммерийской фазы складчатости; *6* — в сеномане; *7* — во время ларамийской фазы складчатости; *8* — во время альпийской фазы складчатости; *9* — в четвертичный период.

II. Положительные движения земной коры в районе Приуралья: *1* — в угленосное время; *2* — в верейское время; *3* — во время герцинской складчатости (*а* — подъем Урала, *б* — прогибание предгорной депрессии); *4* — в конце нижнепермского и в верхнепермское время; *5* — во время древнекиммерийской фазы складчатости; *6* — в нижнемеловое время; *7* — во время альпийской фазы складчатости; *8* — в четвертичный период.

1) Периоды открытого водообмена и активного стока подземных вод; 2) периоды закрытого водообмена и ослабленного стока подземных вод; 3) периоды отсутствия водообмена, накопление подземных вод в депрессиях и их метаморфизация; 4) колебания уровня дна моря; 5) морской режим; 6) континентальный режим.

вскрытые бурением в вышележащих комплексах пород палеозоя, мы склонны рассматривать не как реликтовые воды, захороненные вместе с вмещающими их породами, а как воды, формирование которых происходило в течение геологических периодов времени в результате большого цикла кругооборота атмосферных осадков (20). При этом кругообороте выщелачивание атмосферными водами первичного погребенного морского комплекса сопровождалось взаимодействием с отжатыми из него седиментационными водами, катионным обменом и рядом других физико-химических и биохимических процессов.

Начиная с нижнего карбона, впадина испытывала ряд колебательных движений (схема которых представлена на фиг. 3), под влиянием которых в ней происходили изменения состава подземных вод и условий их стока.

В карбоне подъемы, носящие характер эпейрогенических движений, происходили во впадине два раза: в периоды отложения осадков угленосной и верейской песчано-глинистых толщ.

В угленосный период главные массы кластического материала поступали во впадину с запада, северо-востока и юго-востока [1]. В том же направлении был ориентирован подземный сток.

Помимо того, мы можем предполагать о возникновении подземного стока на отдельных приподнятых участках суши, о некотором отжиме под его влиянием захороненных девонских вод и об их оттоке через гидрогеологические окна. Поэтому период отложения во впадине пород угленосной толщи может быть охарактеризован как первый период водообмена.

Второй период водообмена устанавливается для верейского времени. Сопоставление литологического состава пород, отложившихся за это время, позволяет выделить во впадине три района, давшие фациально различные осадки:

1) северо-восточный (Краснокамск, Вожгалы); в нем осадки представлены терригенным материалом — переслаиванием глин, песчаников и песчанистых известняков;

2) центральный (Туймазы, Бугуруслан), в котором осадки сложены известняками;

3) южный (Самарская Лука), где осадки представлены дельтовыми песчано-глинистыми фациями, постепенно переходящими далее на запад, по мере приближения к Окско-Цнинскому валу, в преимущественно песчаные фации.

Такое распределение фаций показывает, что за верейское время палеогидрогеологические условия во впадине были различными. В ее центральных частях господствовал режим мелкого моря; в северо-восточных частях отлагался терригенный материал, образующийся за счет размыва суши, со стороны которой происходил, очевидно, и сток подземных вод в сторону прибрежных частей моря; в южных частях в мелководное верейское море впадали с запада реки, давшие дельтовые отложения. Это освещено в диссертации И. И. Трофимова в 1941 г. Обмен захороненных вод мог возникнуть за это время на суше и на отдельных участках, приподнятых в виде островов или возвышенностей над уровнем моря.

Последующие подъемы в восточной части впадины происходят в периоды герцинской и древнекиммерийской фаз складчатости. Герцинская складчатость вызвала формирование Уральского хребта и около него глубокого предгорного прогиба, что резко изменило условия питания, накопления и стока подземных вод. Большие массы терригенного материала начали сноситься с хребта с востока на запад; максимальное их количество откладывается у подножья хребта и в некотором отдалении от него. В соответствии с общим стоком с хребта поверхностных вод был ориентирован в том же направлении и подземный сток. Наличие глубокого предгорного прогиба затрудняло движение подземных вод, но вряд ли его исключало, в связи с резкой расчлененностью рельефа и большими гидростатическими напорами пресных вод на хребте. Основная масса подземных вод двигалась, повидимому, с северо-востока на юго-запад по наиболее приподнятой зоне каменноугольных известняков западного склона Урала, залегавших на выступе докембрийских пород, протягивавшемся уже в то время от Уфимского плато к среднему Поволжью и окаймлявшего, по Н. С. Шатскому [15], с юга Подмосковную котловину.

Интенсивные формы водообмена возникали на западном склоне хребта по системам тектонических трещин и в предгорных частях

впадины. В самой впадине за это время происходили процессы накопления и метаморфизации соленых вод в замкнутых или полузамкнутых бассейнах нижней и верхней перми, за исключением казанского периода, в течение которого часть впадины покрывается морем; соленые воды из этих бассейнов фильтруются вниз и засоляют породы, промытые в предшествующие геологические эпохи, и весьма медленно передвигающиеся по ним подземные воды.

Последующая древнекиммерийская фаза складчатости вызвала в восточной части впадины образование главной части дислокаций западного склона Урала [2], с которыми связано, повидимому, повторное возникновение тектонической трещиноватости пород. Несомненно, что эти тектонические трещины явились путями для восходящего движения подземных вод из глубоко залегающих горизонтов палеозойского комплекса. Не исключена возможность того, что к этим трещинам приурочены в настоящее время минеральные источники хлоридно-натриево-магниевого типа, которые находятся на стыке между нагорной и равнинной частями Башкирии; возможно также, что к ним относится ряд молодых открытых трещин в артинских известняках Ишимбая.

В южной части впадины, включающей Самарскую Луку, палеогидрогеологические условия за рассматриваемые периоды были несколько иными. В период среднего и верхнего карбона происходило в ней прогибание морского дна и отложение известняков и доломитов. В течение пермского периода господствует режим лагун, полузамкнутых и замкнутых бассейнов.

За это время соленые воды фильтруются и засоляют нижележащий известняково-доломитовый комплекс пород.

Первая фаза орогенических движений происходит в триасе и относится к древнекиммерийской фазе складчатости. Под ее влиянием район Самарской Луки поднимается в виде свода. Поднятия сопровождаются возникновением тектонической трещиноватости пород северо-западного и северо-восточного простираний, максимальное развитие которой установлено в западной наиболее приподнятой части свода [12].

По образовавшимся трещинам происходит излив на поверхность глубоко залегающих палеозойских рассолов, их опреснение в верхних частях скального массива и их дегазация. При своем подъеме рассолы вытесняют нефть, которая мигрирует не только в стороны, заполняя в породах пустоты и каверны, но также и вверх, вызывая при этом битуминизацию известняково-доломитового комплекса. Доказательством излива нефти за указанный период являются асфальтированные окатанные гальки известняков и доломитов, залегающие в основании батской толщи Батрацко-Печерского месторождения асфальта в верхнепермских известняках, при полном отсутствии следов битуминизации в юре, и отдельные скопления нефти в кавернах скального массива. Последующий, доюрский, размыв приподнятых частей свода сопровождается развитием процессов карстования пород перми и верхнего карбона, проявления которого установлены в ряде пунктов Самарской Луки.

В течение юры и нижнего мела значительная часть территории Урало-Волжской впадины находится в условиях континентального режима или режима мелкого моря. Отток глубоко залегающих вод, перекрытых водоупорной толщей пород кунгура и юры, за это время происходит только на отдельных участках; водообмен весьма затруднен, носит закрытый характер; во впадине господствуют, в основном, процессы накопления и метаморфизации подземных вод.

В верхнемеловой период начинает формироваться широтный прогиб, в результате процессов орогенеза в Кавказской геосинклинали. По направлению к нему происходит изменение ориентации подземного стока; он получает преобладающее направление на юг. К концу периода вся южная часть впадины опускается, и верхнемеловое море достигает западного склона Урала.

Из наиболее отчетливо выраженных восходящих движений за это время в южной части впадины устанавливаются два подъема: в сеномане и в конце мелового периода; в восточной части впадины восходящие движения отмечаются для нижнемелового периода.

Сеноманские поднятия обусловили развитие в южной части впадины режима мелкого моря с отдельными участками суши; в восточной части впадины — континентального режима. Поднятия в конце верхнемелового периода, совпадающие по А. Д. Архангельскому [2] с ларамийской фазой складчатости, вывели на поверхность в южной части впадины значительную часть комплекса пород, включая нижнемеловые осадки, которые были в последующем размыты и снесены. Во время этих поднятий вновь произошел водообмен. В период сеноманских поднятий он захватывал только лишь отдельные участки, приподнятые над уровнем моря; в период поднятий, связанных с ларамийской фазой складчатости, водообмен должен был захватить значительную территорию.

С начала кайнозоя и в продолжение его колебательные движения в восточной части впадины в основном заканчиваются. Несколько неясным является вопрос о третичной тектонике Предуралья. Тектогенез в этом районе, по последним данным Н. А. Преображенского, проявился в весьма своеобразных и трудноуловимых формах — в форме широких пологих валов широтного простирания (вал Общего Сырта и др.), формирование которых произошло после акчагыльской трансгрессии; однако наличие такого тектогенеза не может считаться твердо установленным.

В южной части впадины альпийский орогенез привел к вторичному подъему свода в районе Самарской Луки; подъем сопровождался возникновением Жигулевской и Борлинской дислокаций, типа флексур, по которым средняя часть свода опустилась в виде грабена [2]. Орогенические движения этого периода оживили древние доюрские трещины и создали новые системы трещин растяжения, ориентированные в широтном и меридиональном направлениях. По нашим исследованиям трещины широтного направления отчетливо проявляются в настоящее время только в непосредственной близости к оси Жигулевской дислокации. При движении от нее на юг они быстро затухают, переходя в скрытую волосную трещиноватость, что указывает на затухание тектонических напряжений в этом направлении. Меридиональная система трещин выражена слабо; наиболее отчетливо она проявляется в местах расположения куполовидных вздутий, затухая и сходя почти на-нет в прогибах между ними. К этой системе трещин приурочены, очевидно, те поперечные разрывы, которые были установлены Е. Н. Пермяковым у Усолья, Н. И. Соколовым около Стрельного оврага, и те «сгустки» трещин, которые отмечены автором настоящей статьи в некоторых местах северного обрыва Жигулей.

Интенсивная тектоническая трещиноватость пород обусловила вторичный подъем по трещинам из пород палеозоя рассолов и нефти. К тому же периоду нужно отнести размыв мощных толщ

палеогена и меловых отложений, залегавших на высоко приподнятых участках Самарской Луки, а также части юрских осадков, переотложенных впоследствии в пониженных участках в виде «переволокских» глин. Таким образом за время альпийской фазы складчатости здесь вновь устанавливаются фазы водообмена.

Дальнейшие колебательные движения небольших амплитуд происходят во впадине в акчагыле и в четвертичный период. В четвертичный период поднятия сопровождаются переуглублением русла Волги и ее притоков, образованием цоколей и уступов террас; опускания района приводят в свою очередь к заполнению долин наносами и к образованию аллювиальных террас.

В восточной части впадины послеакчагыльские эпейрогенические колебания способствуют формированию террасовидности рельефа и аккумулятивно-денудационных поверхностей, связанных с различными фазами выработки гидрографической сети.

Приведенные весьма краткие сведения показывают, что Урало-Волжская впадина представляла собой, начиная с среднего девона, чрезвычайно мобильный участок земной коры с проявлением в нем различных колебательных движений. Орогенические движения, сопровождавшиеся возникновением тектонической трещиноватости пород, размывом верхних водоупорных толщ, перемещением областей питания и стока, а также эпейрогенические движения, приводившие к подъемам отдельных частей впадины в виде возвышенностей или островов, вызывали в палеозойском массиве разные виды газо-водообмена и обусловливали такую же мобильность подземных вод и непрерывные изменения их стока. В связи с этим представление о глубоко залегающих погребенных реликтовых водах Урало-Волжской впадины, захороненных с вмещающими их породами девона и карбона и не подвергавшихся в течение последующей геологической истории каким-либо изменениям, должно быть пересмотрено с точки зрения выдвинутых положений, вытекающих из анализа палеогидрогеологических условий интересующего нас района.

НЕКОТОРЫЕ СООБРАЖЕНИЯ О РОЛИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ФОРМИРОВАНИИ И РАЗРУШЕНИИ НЕФТЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

Вопросы формирования нефти и последующей ее аккумуляции в виде нефтяных залежей представляют весьма сложную проблему, полностью до настоящего времени еще не решенную, несмотря на ряд теоретических и опытных данных и специальных работ, поставленных как в нашем Союзе, так и за рубежом.

Совершенно очевидно, что указанную проблему мы не можем решить и для нефтяных месторождений Урало-Волжской впадины, но дать некоторые соображения о роли подземного стока при формировании нефтяных залежей мы можем.

Процесс формирования нефтяных залежей в схеме может быть разделен на три основных этапа: 1) формирование нефти в осадках материнских пластов, 2) перераспределение нефти и воды при седиментации осадков, 3) последующая миграция нефти и ее аккумуляция в нефтяные залежи.

Формирование нефти в осадках материнских пластов является результатом весьма сложных биохимических процессов, происходивших, по-видимому, в заливах эпиконтинентальных бассейнов, зараженных сероводородным брожением. Места скопления нефти по отношению к

берегам таких бассейнов недостаточно ясны. Так, например, Б. В. Порфирьев [16] считает, что они возникают «вблизи крупных поднятий в непосредственной близости от моря», А. Мак-Кой и В. Росс-Кейт [11] полагают, что они должны быть расположены «вдоль берегов или на некотором расстоянии от них над колеблющимися складками дна бассейнов», И. М. Губкин [4] и ряд других геологов считают, что они должны быть приурочены к прибрежным частям открытого моря с соленой водой и т. д.

Также недостаточно ясен характер тех биохимических процессов, которые приводят к формированию нефти. В пределах настоящей работы мы не можем рассматривать эти процессы. Неоспоримо лишь то, что исходным веществом, биохимическая переработка которого дает нефть, является органическое вещество глинистых пород.

В этом отношении работа А. Д. Архангельского об условиях образования нефти на Северном Кавказе [3] дает убедительные данные.

Мы также не можем рассматривать те условия, которые создаются на дне бассейнов при седиментации осадков и обусловливают последующее перераспределение в них нефти, газов и воды. Они слишком сложны и мало изучены. Ограничимся только несколькими указаниями на роль воды и капиллярных свойств пород при этих процессах.

Перераспределение нефти и воды при седиментации осадков происходит под влиянием нагрузки вышележащих слоев. При уплотнении осадков из них отжимаются газ, соленая вода и нефть в виде эмульсии. При последующем расслоении, в соответствии с разницей удельных весов, наиболее легкий из всех компонентов — газ заполняет верхнюю часть пласта, под ним располагается нефть и под ней наиболее тяжелый компонент — вода.

В случае, если пласт неоднороден и представлен переслаивающимися или вклинивающимися друг в друга песчано-глинистыми отложениями, распределение газа, нефти и воды будет происходить не только в силу их гравитационного расслоения, но также под действием капиллярных сил, пластового давления, диффузии, осмоса и других причин.

Движение вод под действием капиллярных сил возникает вследствие разницы в величине поверхностного натяжения между водой и нефтью. Величина поверхностного натяжения для воды равна около 78 дин на 1 см, для нефти около 26—30 дин на 1 см, т. е. почти в 2.5 раза меньше. В силу этого вода легче проникает в мельчайшие поры глин, вытесняя из них нефть.

По образному выражению акад. И. М. Губкина [4] «мелкопористая глина, как губка, будет впитывать в себя из песков воду, которая будет постепенно замещаться нефтью — молекула за молекулой в течение целых геологических эпох, пока вся нефть не переместится в песчаные или другие пласты и не расположится в них по удельному весу; вода займет нижнюю часть пласта, а газ и нефть — верхнюю». При этих условиях движение воды будет происходить в основном из песка в глину, а движение нефти из глины в песок.

В более грубозернистых осадках, где действие капиллярных сил меньшее, движение будет происходить под влиянием разности давления из мест наибольшего уплотнения к местам наименьшего уплотнения. Так как наибольшему уплотнению подвергаются глины, то нефтяная эмульсия будет двигаться из глин в пески, где произойдет дальнейшее ее расслоение в силу гравитации на газ, нефть и воду.

При наличии уже сформировавшейся в пласте нефти, вода при своем движении по песку может увлечь с собой при определенной

скорости движения мельчайшие пузырьки нефти; последние двигаются
до более крупнозернистых разностей песка, где скорости движения
уменьшаются и дальнейшее продвижение пузырьков нефти прекра-
щается; вода же протекает далее к участкам пониженных давлений.
При дальнейшем уплотнении осадков из них отжимаются добавочные
объемы эмульсии и происходит повторение процесса. При этом вода,
протекающая мимо ранее сформировавшихся скоплений нефти в круп-
ных породах, может их или обтекать или же, при наличии достаточ-
ного давления, проталкивать дальше. В силу этого нефть может
передвигаться далее по пласту к более грубозернистым разностям, где
вновь происходит ее локализация. Если этот процесс не останавли-
вается, то такие скопления могут превращаться в залежи нефти.

Такова общая схема. В природных условиях, где помимо чисто
физических процессов движения флюида через поры происходит еще
целый ряд физико-химических и биохимических процессов, перерас-
пределение, конечно, протекает в гораздо более сложных условиях.

Последующие процессы миграции нефти во вмещающих порода
происходят под действием воды при колебательных движениях земной
коры в областях отложения нефтесодержащих осадков. При погруже-
ниях увеличивается объем осадков и соответственно возрастает давле-
ние на нефтесодержащие пласты, что приводит к все нарастающему
объему отжимаемой из них воды.

Если нефтесодержащий пласт перекрыт водонепроницаемым чехлом
и расположен на водонепроницаемом основании, т. е. представляет
изолированную систему, то отжимающаяся вода должна двигаться
вверх по восстанию пласта. Если же нефтесодержащий пласт имеет
сообщение с нижележащим менее водонасыщенным пластом, то отжа-
тая вода поступит из него в этот пласт. Таким образом, при углубле-
нии дна бассейнов возможны два рода движения: при наличии
нижнего водоупора снизу вверх, а при отсутствии его — сверху вниз.
При движении подземных вод возникает дальнейшая миграция нефти.

Поднятия дна бассейнов вызовут иные условия миграции нефти.
Трудно себе представить, чтобы поднятия происходили плавно без
разрывов слоев. Вероятнее будет предположение, что каждый из
подъемов сопровождается возникновением трещин, так как подъемы
связаны обычно с растяжением пород. При подъемах малой амплиту-
туды трещиноватость пород будет выражена весьма слабо и предста-
лена в основном мелкими волосными трещинами; при подъемах
большой амплитуды и, в особенности, при движениях орогенического
порядка будут возникать открытые трещины. По ним начнется мигра-
ция газа, нефти и сопутствующих ей рассолов. Первым из трех ком-
понентов будет удаляться газ, за ним нефть и рассолы. Поднимающая-
ся вверх нефть будет задерживаться в коллекторах верхних горизонтов
или выдавливаться непосредственно на поверхность.

Таким образом подъемы, так же как и опускания, вызывают
миграцию нефти. Отличие состоит в том, что при опусканиях про-
исходит в основном миграция нефти по пласту; при поднятиях про-
исходит миграция нефти по трещинам между пластами. При отсут-
ствии же трещин нефть должна стекать во время подъемов в пони-
женные части структур.

После указанных предпосылок перейдем к краткой характери-
стике роли подземного стока при формировании нефтяных залежей.

Формирование нефтяных залежей, как известно, происходит только

при некоторых геологических условиях, а именно: 1) при наличии
определенных структур (купола, брахиантиклинали, террасы и т. д.),
2) при наличии в них коллекторов; 3) при наличии над структурами
водоупорных пластов; 4) при наличии каналов для миграции нефти.

Особенно благоприятными условиями для формирования нефтяных
залежей считаются несогласия в напластовании. В. П. Маслов [17],
произведя сводку американской литературы по нефтяным месторожде-
ниям, показал в одной из своих работ достаточно четко, «что
значительное количество больших мировых месторождений нефти
связано с крупными несогласиями или контролируется ими».

На роль несогласий в формировании нефтяных месторождений
указывают также Герольд, И. М. Губкин и ряд других исследователей
в области нефтяной геологии.

Как видно из изложенного, большинство авторов рассматривает
формирование нефтяных залежей с точки зрения тех геологических
условий, которые были благоприятными для миграции и последующей
аккумуляции нефти; гидрогеологические факторы при этом не учиты-
ваются. Только в самое последнее время появилась работа
Н. К. Игнатовича [9], посвященная этому вопросу. В ней развивается
ряд положений о том, что для формирования нефти и, главным
образом, для ее сохранения в виде залежей необходимы обособлен-
ные гидрогеологические структуры, находящиеся в условиях «застой-
ного водного режима»; при наличии же в структурах движения подзем-
ных вод и их активного обмена с поверхностью происходит
разрушение нефтяных залежей.

В плане широких построений, положения Н. К. Игнатовича соот-
ветствуют фактическому распределению основных нефтеносных райо-
нов в Урало-Волжской впадине; для детальных же характеристик
условий формирования отдельных нефтяных залежей они нуждаются
в уточнении.

Так, например, вокруг нефтяных залежей в угленосной толще
нижнего карбона Самарской Луки (Сызрань, Троекуровка) нами уста-
новлено движение подземных вод, происходящее в направлении с восто-
ка на запад, и их последующая разгрузка в долину Волги. Несмотря
на эту разгрузку и связанный с ней водообмен, нефтяные залежи в
указанном районе существуют. Последнее обусловлено тем, что ско-
рости и напор подземных вод недостаточны, чтобы преодолеть силы
сцепления между молекулами нефти и породой, вызвать ее движение
по пласту и привести тем самым к разрушению ранее сформировав-
шиеся нефтяные залежи.

Процесс формирования нефтяной залежи протекает в геологиче-
ские периоды времени и обусловливается рядом причин, в том числе
действием воды на отдельные локализированные по различным
горизонтам скопления нефти,— в этом заключается положительная,
созидательная роль воды. Процессы созидания нефтяных залежей
могут смениться процессами их разрушения в результате аэрации
месторождений и их обводнения подземными водами, создающимися
при изменении геолого-гидрогеологических условий и в процессе
эксплоатации. В последнем случае активная роль также принад-
лежит подземным водам.

Наличие какой-либо нефтяной залежи не является показателем
того, что нефть образовалась именно в этом горизонте. Она могла
сюда мигрировать из других горизонтов; эта миграция могла при-

останавливаться, оживляться или затухать, отдельные этапы миграции накладываться друг на друга, возникать вновь и т. д. Весь этот сложный узел геолого-гидрогеологических и геохимических вопросов чрезвычайно труден для расшифровки; поэтому до сего времени нет единого мнения об условиях залегания нефти. Некоторая часть геологов считает, что нефть находится в первичных условиях ее залегания, другие считают, что она мигрировала сюда снизу или сверху.

Трудно и пожалуй невозможно объяснить наличие нефти во всех стратиграфических горизонтах палеозоя Урало-Волжской впадины как результат первичного в них нефтеобразования. Также трудно допустить, что вся нефть находится только во вторичном залегании. Очевидно, что формирование нефтяных залежей протекало различными путями.

Рассмотрим возможные схемы. Выделим из разреза пород прибрежные осадки эпиконтинентальных бассейнов с нормальной соленостью. Это будут песчано-глинистые осадки среднего девона, угленосной толщи нижнего карбона, мартьяновской (верейской) толщи среднего карбона и сперифорового подъяруса нижнеказанских отложений.

Во время отложения этих осадков создавались благоприятные условия для формирования нефти. Геологические условия были благоприятны тем, что осадки откладывались на эродированной и закарстованной поверхности нижележащих пород, в зонах будущего несогласия в напластовании, и состояли из чередования песчаных и глинистых фаций; гидрогеологические условия благоприятствовали тому, что с приподнятых участков суши происходил сток пресных вод, предохраняющих бассейны от их перезасоления; биохимические условия способствовали накоплению значительных масс органического вещества, процессы биологической переработки которого в придонных зонах, зараженных сероводородным брожением, протекали в нормальных анаэробных условиях. Исходя из этого, мы не имеем никаких оснований думать, что нефтеобразование здесь не происходило. Оно, несомненно, имело место, но последующая миграция нефти и ее аккумуляции в виде залежей, приуроченных к определенным коллекторам и структурам, главным образом к сводовым частям брахиантиклинальных складок, или к стратиграфическим ловушкам, происходили позднее, после формирования этих структур.

Наличие между основными нефтеносными горизонтами отдельных нефтепроявлений, а также скопления промышленных запасов нефти в артинском и кунгурском ярусах, показывают на существование процессов миграции нефти и на вторичность условий ее залегания в отдельных районах. В частности, вопрос о вторичном залегании нефти в артинских известняках Ишимбая, после работ В. С. Сермягина [19], давшего развернутую характеристику литологии известняков Ишимбая, С. А. Радченко [18], специально изучившего битумы этих известняков, и В. Б. Порфирьева [16], давшего геологическую интерпретацию всех имеющимся данным, может считаться в достаточной степени решенным. Точно так же наличие доюрского излива нефти непосредственно на поверхность земли подтверждается Батрацко-Печерским месторождением асфальта на Самарской Луке, в котором битумы находятся в верхнепермских известняках, при полном отсутствии их в юре.

В восточной Приуральской части Урало-Волжской впадины

основной процесс миграции нефти происходил, без сомнения, после орогенеза в Уральской геосинклинали.

Наличие в палеозое глинистых прослоев и разграничение ими разреза карбонатных пород на отдельные «этажи» дает основание предполагать, что миграция распространялась по каждому из нефтеносных этажей в отдельности. Исключение представляли только лишь тектонические швы и глубокие разрывы, по которым могло происходить сообщение между нефтеносными этажами на отдельных локализированных участках. Основные процессы миграции нефти и формирование нефтяных залежей закончились, повидимому, в триасе. Последующие процессы миграции, в результате которых нефть проникла до татарского яруса и даже в четвертичные отложения, связаны, возможно, с более молодыми движениями. Характер этих процессов и время их возникновения остаются неясными.

В южных частях описываемой территории послепалеозойская история миграции нефти является более ясной. Ее мы склонны связывать с альпийской складчатостью, когда произошло окончательное формирование Жигулевского купола, и, возможно, с четвертичными поднятиями. Подтверждением процессов миграции нефти в послепалеозойскую историю может служить месторождение гудронных песков средней юры, расположенное около с. Бахилово.

Исходя из изложенного, мы считаем, что в результате боковой миграции нефти от ее первоначального скопления вдоль по пластам, происходящей в периоды эпейрогенических колебаний, и вертикальной миграции по трещинам из слоя в слой, происходящей в периоды орогенеза, создавались благоприятные условия для аккумуляции нефти по коллекторам в виде нефтяных залежей.

В процессе эксплоатации нефтяные залежи, через некоторый период времени, обводняются подземными водами. В результате этого происходит разрушение или истощение нефтяных залежей.

Мы не будем описывать обводнение всех нефтяных залежей, так как это привело бы нас к составлению специальной монографии, вряд ли необходимой для разрешения поставленных нами задач. Остановимся только лишь на результативных данных по этому вопросу, который был детально нами изучен на нефтяных залежах Самарской Луки, Туймазы, Ишимбая и Карлы.

Обводненность нефтяных месторождений зависит от трех основных причин:

1) гидрогеологических условий,
2) физических свойств продуктивных пластов,
3) системы и режима эксплоатации.

Обводненность же в месторождениях буровых скважин обусловлена в свою очередь рядом дополнительных причин. Основными из них являются: положение буровых на структуре, расстояние их от водонефтяного контакта, наличие между забоем и водонефтяным контактом водоупорных прослоев, близость ранее обводненных буровых.

До начала эксплоатации месторождения движение подземных вод вокруг нефтяных залежей происходит при весьма малых скоростях. Вода обтекает нефтяные залежи и не оказывает на них никакого влияния. При эксплоатации нефтяного месторождения происходит изменение гидрогеологических условий в результате создания депрессий пластовых давлений на участках заложения эксплоатационных скважин. К этим участкам начинается подток нефти и воды. Так как вода обладает

значительно меньшей вязкостью по сравнению с нефтью, то ско
рость ее движения по пласту является большей, чем скорость движени
нефти. Вода обгоняет нефть, быстрее подходит к забоям буровых сква
жин и начинает их обводнять. Первоначально образуются конусы
подошвенных вод. Затем начинается стягивание контура нефтеносности
Происходит это явление неравномерно, так как водопроводимость поро
различная; образуются языки контурных вод, внедряющиеся в нефтя
ную залежь по наиболее водопроводящим путям. При эллиптических
формах нефтяных залежей, типичных для брахиантиклинальных струк
тур Урало-Волжской впадины, неизбежными являются, при систем
разработки нефтяной залежи от ее центра к периферии, «перепилива
ние» нефтяных залежей встречными языками контурных вод и потер
нефти из невыбранных целиков или отдельных ее скоплений, зажаты
между языками. В конечном итоге может создаться такое положение
что вся площадь нефтяной залежи, прилегающая к эксплоатационны
скважинам, окажется занятой водой, под которой останется неиспол
зованная нефть.

В раскрытых или полураскрытых структурах, возникающих пр
размыве водоупорных чехлов и возникновении сквозной трещинова
тости пород, при наличии в них естественного движения подземных во
и распространения хороших коллекторов, создаются облегченные пут
для обводнения нефтяных залежей. Примером является центральны
участок Сызранского месторождения, расположенный в юго-западно
части Самарской Луки, представляющей гидрогеологическое окно,
пределах которого происходит разгрузка рассолов из карбона вплот
до угленосной толщи. Нефтяные структуры восточной части Самарско
Луки, где разгрузка рассолов отсутствует, должны находиться поэтом
в более благоприятных условиях.

В закрытых структурах с застойным характером движения подзем
ных вод условия для обводняемости нефтяных месторождений являют
затрудненными. При развитии в продуктивных горизонтах пород
плохими коллекторскими свойствами и при больших размерах нефт
ных структур обводнение нефтяных залежей, вне зависимости от с
стемы эксплоатации, бывает небольшим. Очаги несколько более повы
шенного обводнения возникают только в приконтурных зонах, за сче
подтягивания языков контурных вод, и на отдельных локальных участ
ках более лучших коллекторов, за счет роста конусов подошвенных во
Примером является Туймазинское месторождение.

При наличии нефтяных структур, расположенных в недалеком рас
стоянии от области питания подземных вод, является неизбежным внед
рение языков пластовых вод в нефтяные залежи (при их эксплоатации
При наличии в таких структурах хороших коллекторов или при раз
витии интенсивной трещиноватости пород обводнение нефтяных зале
жей будет весьма интенсивным. Примером является Карлинское место
рождение.

Совершенно особое место среди нефтяных месторождений занимае
группа Ишимбаевских погребенных рифовых массивов. При весьм
сложном и неравномерном распределении в них коллекторов обводне
ние их, происходящее за счет подошвенных вод, носит такой ж
сложный и неравномерный характер, усиливаясь в массивах с хоро
шими коллекторскими свойствами и ослабевая на участках или в мас
сивах с плохими коллекторскими свойствами.

Для всех рассмотренных нефтяных залежей весьма показательно

в смысле выяснения возможных условий их обводнения является сте
пень метаморфизации подземных вод. Для нефтяных месторождений,
имеющих подземные воды высоких степеней метаморфизации, харак
терным является пониженная степень их обводненности; для тех же
нефтяных месторождений, в которых воды менее метаморфизированы,
обводненность месторождений более повышена. Указанная закономер
ность распространяется не только на отдельные месторождения, но
также и на отдельные участки в пределах одного месторождения.
Примером такой взаимосвязи между степенью метаморфизации под
земных вод и степенью обводненности отдельных участков в пределах
одного месторождения являются некоторые массивы Ишимбаевского
месторождения и Карлинское месторождение.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. П. Авдусин. Песчаные породы в визейских отложениях Второго Баку, как коллектора нефти. ДАН СССР, 1944, т. 42, № 1.
2. А. Д. Архангельский. Геологическое строение СССР. ОНТИ, 1935.
3. А. Д. Архангельский. Условия образования нефти на Сев. Кавказе. 1927.
4. И. М. Губкин. Учение о нефти. ОНТИ, 1937.
5. И. М. Губкин. Нефтеносность Урало-Волжской области. Изд. Акад. Наук СССР, 1941.
6. Ч. Дарвин. Сочинения, т. II. Изд. биол. и медиц. лит., 1931.
7. Ляйелль. Основные начала геологии, т. I—II. Москва, 1886.
8. Н. К. Игнатович. О закономерностях распределения и формирования подземных вод. ДАН СССР, 1944, т. 45, № 3.
9. Н. К. Игнатович. К вопросу о гидрогеологических условиях формирования и сохранения нефтяных залежей. ДАН СССР, 1945, т. 46, № 5.
10. К. И. Маков. К вопросу о путях формирования подземных вод Днепровско-Донецкой впадины. ДАН СССР, 1944, т. 44, № 49.
11. Мак-Кой и Росс-Кейт. Современные воззрения на структурную теорию миграции и аккумуляции газов и нефти. Проблемы образования нефтяных залежей. ОНТИ, 1938.
12. Е. Н. Пермяков. К познанию геологической истории района Жигулевского купола. БМОПП, отд. геол., т. 12, № 4, 1939.
13. А. И. Силин-Бекчурин. О куполообразном залегании минерализованных вод в долинах Волги и Камы. Сов. геол., 1940, № 4.
14. Н. С. Шатский. Орогенические фазы и складчатость. XVII межд. геол. конгр., т. II. Изд. Акад. Наук СССР, 1939.
15. Н. С. Шатский. О верхнепалеозойской структуре «Восточно-Русской впадины». ДАН СССР, 1941, т. 31, № 5.
16. Б. В. Порфирьев. К вопросу о нефтеносности Днепровско-Донецкой впадины. Мат. по нефтеносности Днепровско-Донецкой впадины, вып. 1. Изв. Акад. Наук УССР, Киев, 1940.
17. В. П. Маслов. Роль несогласия и эрозии в образовании нефтяных месторождений по американской литературе. Изв. Акад. Наук. СССР, 1943, № 2.
18. С. А. Радченко. Химическое изучение битумов артинских отложений Стерлитамакского месторождения нефти. Тр. НГРИ, сер. А, вып. 101, 1933.
19. В. С. Сермягин. Литологическая характеристика известняков Ишимбаевского месторождения нефти. Тр. НГРИ, вып. 101, 1938.
20. А. И. Силин-Бекчурин. К вопросу о формировании минеральных вод в Башкирии. ДАН СССР, 1946, т. 52, № 1.

Т. П. АФАНАСЬЕВ

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬ

(в пределах Татарской, Чувашской и Марийской АССР)

Подземные воды на значительной части территории Среднег Поволжья залегают на небольших глубинах, около 3—5 м, и реже н глубинах 25—40 м и более.

Мощность вскрытой части водонасыщенной толщи, известной п обнажениям и скважинам, определяется на большей части площад края всего от нескольких десятков метров и до 100 м, редко до 120 (толща татарских и казанских отложений, в речных долинах — четвер тичных отложений). Лишь в небольшом количестве пунктов в долина Волги, Камы и в Закамье водонасыщенная толща пройдена д 250—500 м, а в районе г. Чистополя (д. Булдырь) до 1200 м (кунгур ские, артинские, каменноугольные и частично верхнедевонские отлож ния). Глубокие горизонты вод остаются таким образом неизвестными, нижняя часть вскрытой толщи известна только по единичным скважина

Водонасыщенная толща имеет весьма различную степень водонос ности от незначительного увлажнения пород до мощных подземных по токов. В общем виде распределение водных масс в толще обусловле тремя факторами — литологическим составом водовмещающих поро тектоническими условиями залегания водоносных слоев и положение водоносных слоев относительно речной сети. Последний фактор имее весьма важное значение.

Трещиноватые и пористые породы — известняки, доломиты, мергел песчаники и рыхлые пески, лежащие ниже тальвега речных долин, обычно достаточно водообильны. Особенно водообильны в тех же усл виях залегания карстующиеся породы, широко распространенные в в сточной части края. Аналогичные же по литологическому составу сло лежащие выше уровня рек, отличаются меньшей обводненностью, а примыкающих к речным долинам местах часто бывают совершен осушенными.

Реки являются также важным гидродинамическим фактором в ра членении подземных вод на напорные и грунтовые. Воды, располага щиеся выше уровня рек, при всех условиях залегания слоев принадл жат обычно к безнапорным. Встречающиеся здесь изредка напорны воды имеют лишь местное значение и приурочены к небольши невскрытым реками депрессиям. Напорные воды имеют распростран ние только ниже уровня рек. Величина напоров в общем виде опре ляется глубиной погружения, а в частных случаях усиливается от га вого давления. Особенно мощные напоры подземных вод характер для нижних слоев вскрытой толщи — каменноугольных и артинск

слоев; они определяются несколькими сотнями метров и в пониженных частях рельефа дают мощные самоизливы.

Водоносные горизонты обнаружены во всей вскрытой толще — от четвертичных отложений до отложений верхнего девона. Их количество, мощность, водообилие, а также типы вод для различных стратиграфических единиц — неодинаковы. Большая часть толщи, включая вскрытую часть верхнего девона, карбон и нижнюю пермь (артинские), общей мощностью около 1200 м, почти полностью представлена трещиноватыми известняками и доломитами. Эта толща, видимо, сплошь является водоносной, с преимущественно трещинными водами. Поровые воды возможны только в среднем, местами может быть в нижнем карбоне, где среди известняков встречены слои глин, мергелей и песчаников. Количественная характеристика водоносности карбонатной толщи изучена слабо и лишь относительно — по дебиту самоизливающихся скважин. Однако всеми данными подтверждается, что водообилие толщи определяется степенью трещиноватости и разрушенности пород. Наиболее разрушенные горизонты, например, в нижней части артинских и в верхней части верхнекаменноугольных пород, являются также более водообильными. По сведениям М. С. Кавеева расходы самоизливающихся скважин в Закамье в этой части толщи (с глубины около 300 м) определяются до 17 л/сек. С увеличением глубин, где разрушенность и трещиноватость пород уменьшаются, производительность скважин снижается.

Кунгур, в основном представленный ангидритами и гипсами, является водоупорным. Встречающиеся прослои доломитов содержат маломощные водоносные горизонты местного значения.

Для верхнепермских отложений, вследствие частого переслаивания водоносных и водоупорных горизонтов, с мощностью водоносных пластов до 5—12 м и более, характерно преобладание пластовых поровых вод. К наиболее постоянным водоносным горизонтам, имеющим также значительное площадное распространение и относительную изолированность, принадлежат водоносные слои казанского яруса. Они приурочены к песчаникам и известнякам верхней половины нижнеказанского подъяруса и пачкам доломитов верхнеказанского подъяруса. С большей отчетливостью водоносные горизонты выделяются в Приказанском районе и восточнее его, примерно до Чистополя. В Причебоксарском же районе, в связи с значительным преобладанием в казанском ярусе карбонатных пород, поровые воды сменяются трещинными, имеющими сообщения по всей мощности яруса. Водоносные горизонты казанского яруса являются в Поволжье наиболее водообильными, дающими в благоприятных условиях в скважинах и родниках 80—100 м³ в час, или до 35 л/сек. Родники и скважины с дебитом до 10—15 м³ в час считаются обычными.

В татарских, белебеевских и уфимских отложениях, сходных между собой по литологическому составу (красноцветы), водоносные горизонты не имеют большого площадного распространения, а приурочены к большим и малым линзам песчаников, мергелей и известняков, рассеянных по всей толще. Эти линзы во многих случаях связаны между собой как непосредственно по залеганию, так и по трещинам. Водоносные горизонты, хотя и местного значения, но продолжающиеся на значительные расстояния, могут быть указаны только в татарском ярусе — западнее Казани и на самом юге Татарии (бассейн Б. Черемшана). Производительность водоносных

горизонтов и отдельных линз в красноцветах весьма непостоянна и колеблется в самых широких пределах. В Причебоксарском районе наиболее водообильные горизонты татарских отложений в погруженных участках имеют расход в скважинах до 12—15 л/сек. Те же горизонты в повышенных участках имеют дебит скважин и родников 1—2 л/сек. и менее. Белебеевские и уфимские отложения, распространенные только в восточной части Татарии, характеризуются дебитами в скважинах в среднем 2—4 л/сек.

Заслуживают внимания водоносные горизонты четвертичных отложений (аллювиальных), представленных мощными толщами песков и галечников. В долинах Волги и Камы мощность водоносной песчано-галечной толщи достигает 50—80 м. Производительность горизонта определяется по расходам скважин до 100 м³ в час и более, или 30—40 л/сек.

Водоносные горизонты мезозоя (юрских и меловых отложений) существенного значения не имеют.

В качественном отношении в Среднем Поволжье распространены воды самого различного химического состава — от пресных вод с ничтожно малой минерализацией и до концентрированных рассолов. В ряде пунктов отмечены также минеральные воды бальнеологического значения — сероводородные и газированные азотом. Для всей территории минерализация подземных вод возрастает с глубиной, в общем независимо от геологического строения.

В верхней части толщи преимущественно распространены слабо минерализованные и пресные воды гидрокарбонатного типа. Ниже, с увеличением глубин залегания, минерализация вод увеличивается, и на глубинах 200—400 м воды становятся рассолами. Гидрокарбонатный тип подземных вод сменяется в глубину гидрокарбонатно-сульфатным, сульфатным и сульфатно-хлоридным типами, а в нижней части вскрытой толщи преобладает хлоридный тип вод. По содержанию сухого остатка минерализация вод изменяется от 0.2—0.5 г/л в верхних горизонтах до 100—200 г/л в нижних. Максимальная минерализация вод отмечена в глубокой скважине в районе Чистополя (д. Булдырь) на глубине 1057 м, с содержанием сухого остатка 281 г/л (фиг. 1). Однако в деталях, при послойном прослеживании, минерализация вод не всегда нарастает равномерно с увеличением глубины, а часто наблюдаются переслаивания более минерализованных вод с менее минерализованными.

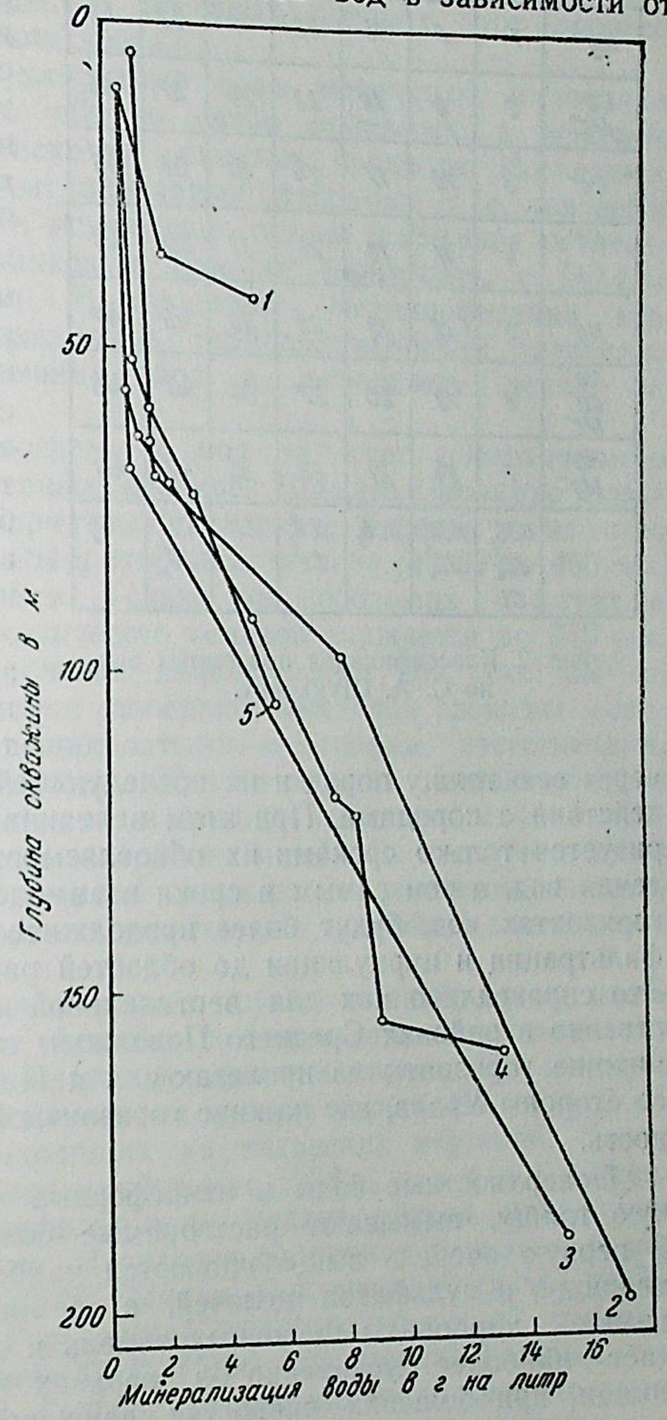
Пестрота в составе вод особенно резко выражена в верхней части толщи при переслаивании глин, песчаников и известняков со слоями, содержащими включения гипса или полностью представленными гипсом, а также доломитом. Так, при жесткости вод в уфимских глинах и песчаниках до 15—25°, в кунгурских доломитах и гипсах жесткость вод увеличивается до 90—120°. То же отмечается и для вод верхнеказанских отложений, где жесткость вод значительно выше, чем в подстилающих нижнеказанских отложениях и перекрывающих татарских слоях. Воды в нижней части вскрытой толщи также различны по составу.

Иной характер распределения минерализации вод отмечается на участках больших тектонических поднятий как в Шугуровском районе, так и в устье Ижа, где вскрыты на поверхности трещиноватые нижнепермские породы. На этих участках, вследствие восходящих потоков глубоких вод, минерализованные воды обнаружены

с поверхности. Однако они менее минерализованы, чем воды пород того же возраста (нижнепермских), лежащих на больших глубинах, вследствие смешения их с поверхностными водами. В этих случаях образуются своеобразные типы вод — сероводородных и азотных, имеющих лечебное значение.

Несмотря на многие другие разновидности вод в зависимости от геологического строения, в принципе тенденция к нарастанию минерализации вод с глубиной остается справедливой.

Пользуясь классификацией вод, разработанной С. А. Щукаревым, в нижних горизонтах вскрытой водонасыщенной толщи преимущественно распространены воды 33 класса, реже встречаются воды 39 и 40 классов и только в виде единичных случаев отмечаются воды 46 и 47 классов. Кверху, с уменьшением минерализации, преобладание переходит к водам 46 и 47 классов и появляются воды 45 и 48 классов. Последние два класса, а также воды 37 и 44 классов имеют распространение в верхних горизонтах, но залегающих ниже уровня рек. Выше уровня рек распространены, главным образом, воды 9, 10, 16 и 17 классов (фиг. 2).



Фиг. 1. Увеличение минерализации подземных вод с глубиной. Скв. 1 и 3 у дер. Цыган-Касы (11 км ниже г. Чебоксары); скв. 2 у дер. Сидельникова (5 км выше г. Мариинского посада); скв. 4 и 5 у дер. Заовражной (7 км выше г. Чебоксары).

Такое разнообразие в распределении и химическом составе подземных вод обусловлено сложной геологической историей их. В различных частях толщи пути развития вод могли быть совершенно различными и даже противоположными. В частности это относится к верхней и нижней зонам изучаемой водоносной толщи. Природа вод верхней зоны представляется более простой, чем нижней. Она всецело связана с поверхностными водами и атмосферными осадками. Все эти воды инфильтруются через верхнюю толщу пород и

поступают в водоносные горизонты. Природа вод нижних горизонтов является весьма сложной и мало выясненной. Первично воды глубоких горизонтов были синхроничны с водовмещающими породами, но с обособлением вод от илистых осадков, при процессах литификации и в связи с тектоническими колебаниями суши первичные воды перемещались и заменялись другими, может быть также морскими водами, но более поздними по возрасту. Могло иметь место вытеснение менее концентрированных вод более концентрированными, как имеющими больший удельный вес. А. Б. Ронов приводит такой пример с кунгурскими концентрированными рассолами лагунного типа, вытеснившими подстилающие менее минерализованные воды типа вод открытых морей. Такие воды могли быть захвачены осадками в артинском, каменноугольном и девонском морях.

$Mg^{\cdot\cdot}$	1	8	15	22	29	36	43
$Ca^{\cdot\cdot}$ $Mg^{\cdot\cdot}$	2	9	16	23	30	37	44
$Ca^{\cdot\cdot}$	3	10	17	24	31	38	45
$Na^{\cdot}$ $Ca^{\cdot\cdot}$	4	11	18	25	32	39	46
$Na^{\cdot}$	5	12	19	26	33	40	47
$Na^{\cdot}$ $Ca^{\cdot\cdot}$ $Mg^{\cdot\cdot}$	6	13	20	27	34	41	48
$Na^{\cdot}$ $Mg^{\cdot\cdot}$	7	14	21	28	35	42	49
	$HCO_3^{\prime}$ $SO_4^{\cdot\cdot}$ $Cl^{\prime}$	$HCO_3^{\prime}$ $SO_4^{\cdot\cdot}$	$HCO_3^{\prime}$	$HCO_3^{\prime}$ $Cl^{\prime}$	$Cl^{\prime}$	$Cl^{\prime}$ $SO_4^{\cdot\cdot}$	$SO_4^{\cdot\cdot}$

Фиг. 2. Классификация подземных вод по С. А. Щукареву.

Процесс образования подземных вод мог итти также и иным путем: за счет инфильтрации поверхностных вод через всю толщу пород и их последующей метаморфизации при взаимодействии с породами. При этом величина минерализации вод характеризуется только сроками их обновляемости. Несомненно, сроки обновления вод, а тем самым и сроки взаимодействия с породами в нижних горизонтах вод, будут более продолжительными, так как пути их инфильтрации и циркуляции до областей разгрузки наиболее удлиненные. Это справедливо как для вертикальной инфильтрации вод непосредственно в районах Среднего Поволжья, так и для вод, поступающих в нижние горизонты из прилегающих к Поволжью районов, в частности со стороны Урала, где нижние горизонты Поволжья выходят на поверхность.

Поверхностные воды и атмосферные осадки, проникая в водоносную толщу, вымывают растворимые соли и сами обогащаются ими. В первую очередь выщелачиваются наиболее легко растворимые соли хлоридов и сульфатов щелочей, а за ними ряд более труднорастворимых — карбонаты щелочных земель и другие. Этот процесс протекает наиболее ускоренно в верхних горизонтах водонасыщенной толщи, при больших скоростях движения вод, и постепенно замедляется с глубиной вследствие уменьшения пористости и трещиноватости пород, а также большей удаленности областей разгрузки. Совершенно естественно поэтому, что в верхних горизонтах, примерно до глубины эрозионного вреза, вымыты хлориды и значительная часть сульфатов, и что воды содержат преимущественно карбонаты кальция. Вымываемые соли частично выносятся через родники в реки, частично же вмываются в нижележащие горизонты, обогащая тем самым их минеральный состав. Ниже речных долин инфильтрующиеся

воды обогащаются сульфатами, а избыточные карбонаты выпадают в осадок в виде карбоната кальция ($CaCO_3$). При аналогичных же условиях выпадают и сульфаты, главным образом в виде гипса, как в верхней зоне, так и при переходе к зоне хлоридных вод.

В карбонатных породах эти процессы ведут к скоплению крупных зерен кальцита и гипса, составляющих иногда до 50% и более от состава первоначальной породы. В песчаных породах этот процесс выражается в цементации частиц песка.

В дальнейшем сульфатно-хлоридные воды проникают в нижние горизонты водоносных пород, обычно слабо промытых, а местами непромытых. В этой зоне происходят основные процессы обогащения вод солями до предела концентрированных рассолов, т. е. основные процессы метаморфизации. Не исключены случаи смешения остаточных морских вод, сохранившихся в нижних горизонтах, с водами атмосферного происхождения. В процессах метаморфизации вод большая роль должна принадлежать термодинамическим условиям; возможны явления выпаривания вод и, вследствие этого, их концентрации.

В отношении питания подземных вод за счет поверхностного стока, в том числе и атмосферных осадков, Среднее Поволжье находится в сравнительно благоприятных условиях. Годовое количество осадков на значительной части территории составляет от 400 до 450 мм, а в северной части до 500 мм. Только на небольших участках в юго-восточной части района количество осадков снижается до 350 мм. Благоприятствуют этому и условия инфильтрации вод, так как на преобладающей части территории поверхностные слои сложены водопроницаемыми породами — трещиноватыми мергелями, известняками, песчаниками и рыхлыми песками. Количественная характеристика инфильтрации вод, за отсутствием материалов специальных наблюдений, может быть только весьма относительной. В виде косвенных материалов можно привести данные водообилия родников, выходящих в береговых склонах рек и оврагов из спокойно залегающих слоев.

В этих условиях исключается всякое другое питание, кроме атмосферных осадков. Колебания в расходах родников отвечают различному количеству инфильтрующейся влаги в различное время. В качестве примера приведем расходы родников на правом берегу Волги, в 3 км ниже г. Козьмодемьянска, выходящих из татарских мергелей. Замер расходов двух родников, произведенный в мае 1938 г., дал 4 и 1.3 л/сек., а в августе, с уменьшением инфильтрации осадков, расход уменьшился соответственно до 2 и 0.8 л/сек. Невдалеке родники с расходом в мае до 0.05 л/сек. в августе полностью иссякли. Подтверждается это также режимными наблюдениями Горьковской гидрогеологической станции, проведенными под руководством Ю. В. Порошина: расход родника, выходящего в нагорной части г. Горького, в тех же геологических условиях (P_2 ^{tat}), в 1941 г. колеблется от 1.3 л/сек. до 1.1 л/сек.; южнее, у д. Симбилеево Дальне-Константиновского района, по тем же данным колебание расхода родника в том же 1941 г. было от 0.45 до 0.20 л/сек.; Ю. В. Порошин приводит также много других примеров. Следует отметить, что у родников, выходящих в нижней части склонов, уменьшение расходов обычно наступает с запозданием иногда до 1 месяца и более.

Инфильтрующиеся атмосферные осадки только частично дренируются в виде родников, а часть их проникает в более глубокие

водоносные горизонты. Наиболее полное поглощение атмосферной влаги имеет место в долинах Волги, Камы, Вятки, Ветлуги и Суры, заполненных в основном песчаными отложениями. Дренаж грунтового потока происходит в них преимущественно только в прирусловой части, в отдаленных же от русла местах инфильтрующаяся вода также в значительной части идет на питание водоносных горизонтов.

Важная роль в питании подземных вод принадлежит рекам и другим открытым водоемам, как озерам, болотам и искусственным водоемам. Река Свияга почти на всем протяжении в правобережной части питает грунтовой поток. Подтверждается это как более пониженными отметками уровня вод в скважинах правобережья, так и отсутствием выхода родников. Изредка встречающиеся родники выходят лишь из верхней части склонов рек и оврагов, обычно с небольшими расходами, из ограниченно-локальных водоносных горизонтов, образованных на контакте коренных отложений с четвертичными. Как на пример питания подземных вод реками можно указать р. Илеть в ее верховьях, где обнаружены активные карстовые процессы.

Притоки Волги: Б. и М. Кокшага, Илеть, Бездна и др., протекающие нижними своими частями в области ее террасовых отложений, теряют на этом отрезке значительную часть воды, а мелкие реки, как Сиявка (приток Суры), Утка (приток Волги) и многие другие полностью исчезают. На ряде рек правобережья Волги (Цивиль, левые притоки Свияги — Була, Кубня, Аря, Бирля) прослежено интенсивное дренирование грунтовых вод в верхней зоне и их последующее поглощение как в нижней части береговых склонов, так и по водотокам оврагов. Замкнутые водоемы, являясь часто водосборами с большими площадей, также существенно участвуют в питании подземных вод. В особенности следует отметить питание через карстовые озера и сухие провалы в Закамье и Приказанском районе. В последних воды задерживаются на очень короткое время.

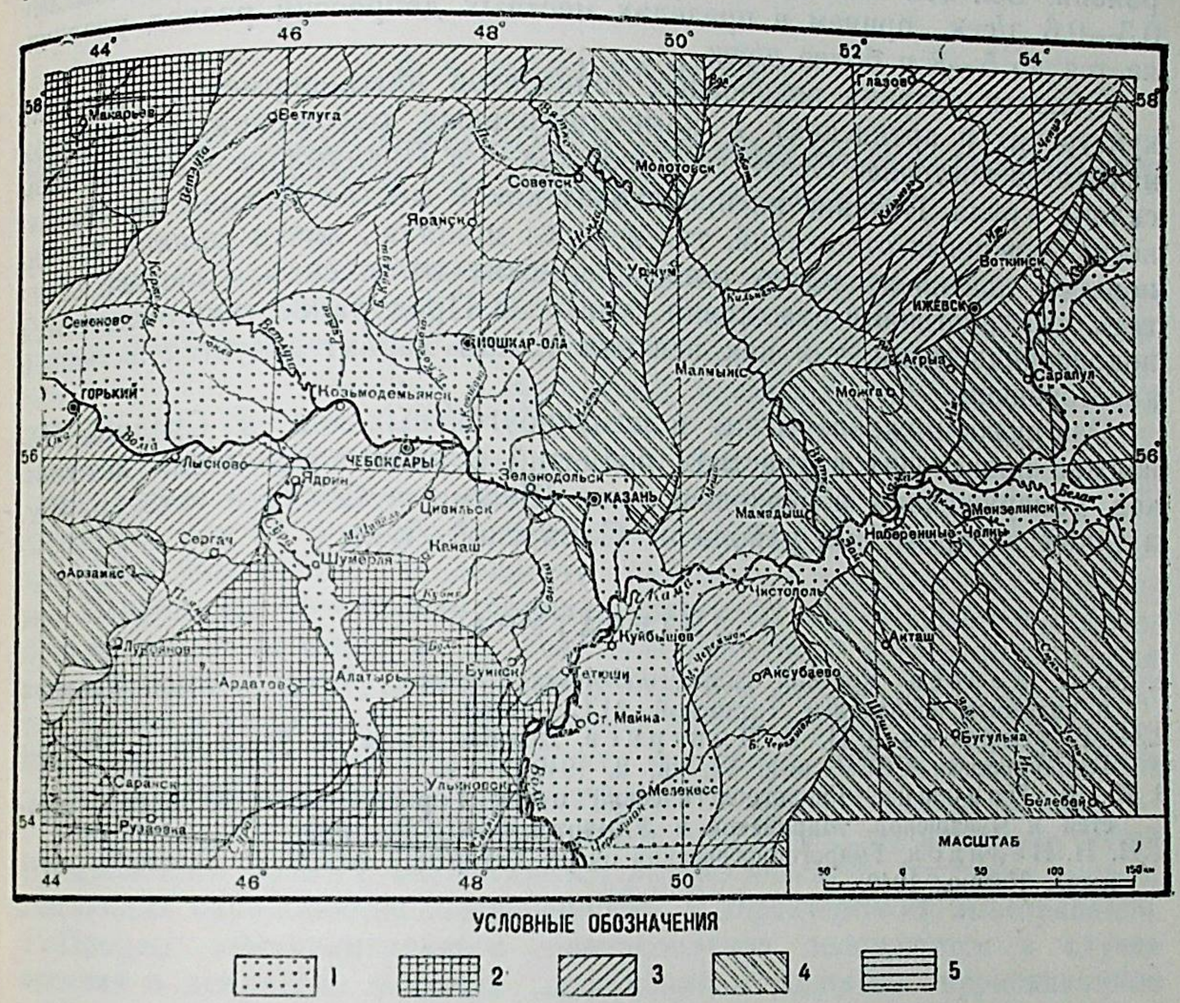
Питание вод за счет конденсации водяных паров из воздуха на территории Среднего Поволжья не изучено. Оно, несомненно, происходит.

Разгрузка или дренирование подземных вод края осуществляется как в виде выхода большого количества родников и выклинивания грунтового потока в речных долинах, так и искусственным дренажем — скважинами на воду, колодцами, шахтами и штольнями. По неполным данным на территории Среднего Поволжья учтено более 3000 родников, действительное же количество их в несколько раз превышает число учтенных. Как пример обилия родников можно привести р. Моркавашку, небольшой правый приток Волги, с водосборной площадью всего в 80 км², где М. Э. Ноинским и Н. К. Игнатовичем отмечено 165 родников с общим расходом более 63 л/сек. В Приказанском районе на площади около 1300 км² зарегистрировано 1250 родников, с общим расходом более 1500 л/сек. Значительная часть из них (881) выходит из татарских отложений, меньшая — из четвертичных отложений. Большое количество родников встречено в бассейне р. Цивиль и в ряде других рек.

Наибольшие расходы родников, в количестве до 25—35 л/сек., выходят из морских отложений казанского яруса. Расходы родников до 4—5 л/сек. в них довольно обычны. Средние расходы родников из татарских отложений, преобладающих на территории края, колеблются в пределах 0.4—1.0 л/сек.; лишь в единичных из них расход возрастает до 8—10 л/сек.

Распределение областей питания подземных вод и областей их разгрузки, в особенности водоносных горизонтов, лежащих выше кунгура, обусловлено в основном геоструктурными факторами.

Основными областями питания водоносных горизонтов в казанских, белебеевских, уфимских и нижней части татарских отложений служат районы тектонических поднятий — Вятский вал и район восточных под-



Фиг. 3. Схематическая карта областей питания подземных вод Среднего Поволжья

Области питания водоносных горизонтов: *1* — четвертичных отложений; *2* — мезозоя (юры и мела); *3* — татарских отложений; *4* — казанских отложений; *5* — каменноугольных отложений.

нятий, особенно юго-восточная его часть (Бугульминское плато). Основными же областями разгрузки вод перечисленных горизонтов являются районы погружений, главным образом в частях, примыкающих к долинам Волги, Камы и Суры.

Как на яркий пример разгрузки вод из горизонтов казанского яруса можно указать на Кадышевские и Щербаковские родники в Приказанском районе, имеющие суммарный дебит 937 л/сек. Отдельные родники этой группы имеют дебит до 35 л/сек. На Каме в Чистопольском районе родники из казанских отложений имеют дебит до 6—10 л/сек.

Подземный поток от областей питания к областям разгрузки на различных участках характеризуется различными уклонами. Из района Бугульминского плато в сторону Камы уклон грунтового потока равен 0.003; в сторону Волги он увеличивается до 0.005. В пределах Вятского

вала уклон потока в сторону Волги от наиболее близких структур (Уразлинской и Янги-Аулской) определяется примерно теми же величинами.

Области питания водоносных горизонтов татарского яруса на большей части площади края совпадают или почти совпадают с областями их разгрузки. Особенно это может относиться к западной половине района. Вся эта часть изобилует родниками, со средними расходами 0.3—0.6 л/сек., причем в пределах местных депрессий расход увеличивается до 5—8 и более л/сек.

Области питания водоносных горизонтов нижнепермских (частично кунгурских и артинских) и каменноугольных отложений в основном находятся восточнее Среднего Поволжья — в Предуралье и на западном склоне Урала. Питание их происходит как в местах выхода на поверхность названных отложений, так и через мощную, почти сплошь трещиноватую континентальную толщу пермских отложений. Следует отметить, что галогенные отложения кунгура в Предуралье также являются водопроницаемыми, так как вся эта толща характеризуется активным карстованием.

Разгрузка нижнепермских и каменноугольных вод в Среднем Поволжье происходит в участках поднятий в виде восходящих источников, обнаруженных в верховьях рек Шешмы и Сок и в устье р. Иж а также за пределами района на Самарской Луке.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. С. Кавеев. Краткий гидрогеологический очерк Татреспублики. Геология и полезные ископаемые Татарской АССР. 1940.
2. А. В. Миртова и П. В. Дмитриев. Долина Камы от устья до г. Оханска. Гидрогеология СССР, вып. VI, кн. 2, 1940.
3. Ю. В. Порошин. Гидрогеологический очерк Горьковской и Кировской областей и Чувашской, Марийской и Удмуртской АССР. 1939.
4. Н. Н. Нелидов. Гидрогеологический очерк Татарской АССР (с каталогом скважин). Казань. 1940.

В. А. ПРИКЛОНСКИЙ

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД В ЗАСУШЛИВЫХ ОБЛАСТЯХ

Одним из наиболее типичных и широко распространенных случаев формирования подземных вод засушливого пояса земного шара является формирование состава грунтовых вод в замкнутых междугорных депрессиях — долинах и низменных равнинах. Подобные условия хорошо известны для СССР (Закавказье и Средне-азиатские республики) и США (Юго-западные штаты). Характерными особенностями таких депрессий являются постепенное уменьшение глубины залегания грунтовых вод от периферии к центральным частям депрессий и одновременное увеличение засоленности грунтовых вод в том же направлении. Основными элементами баланса грунтовых вод в подобных депрессиях являются питание их за счет поверхностного и подземного стока с окружающих депрессию возвышенностей и расход путем вертикальной отдачи в атмосферу в центральных частях депрессии. Расход происходит как путем непосредственного испарения, так и в особенности посредством транспирационной деятельности растительного покрова.

Состав солей, вносимых притекающими в депрессию поверхностными и подземными водами, определяется литологическим составом пород, слагающих окружающие возвышенности, и характером их выветривания.

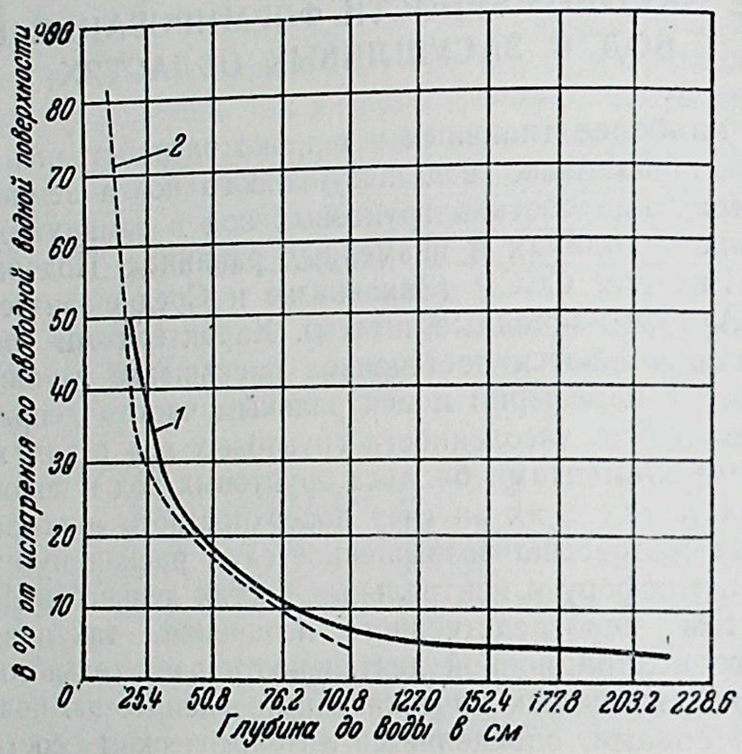
Процесс континентального соленакопления осложняется в случае наличия в депрессии морских отложений и развитой ирригационной сети, являющейся мощным искусственным фактором привноса и перераспределения солей в депрессии. К таким более сложным случаям относится обширная низменность низовьев рр. Куры и Аракса в пределах Азербайджанской ССР между Большим и Малым Кавказом.

Дополнительными факторами, осложняющими формирование грунтовых вод, являются здесь наличие больших транзитных рек — Куры и Аракса с их весенними разливами, а также наличие Каспийского моря, сейчас омывающего низменность с востока, а ранее неоднократно ингрессировавшего далеко в глубь низменности, и нефтяных месторождений юго-восточной оконечности Кавказа с их напорными солеными водами. Тем не менее основные закономерности формирования грунтовых вод, характерные для бессточных депрессий засушливого пояса, выявляются и для Кура-Араксинской низменности достаточно отчетливо.

ЗНАЧЕНИЕ ИСПАРЕНИЯ И ТРАНСПИРАЦИИ РАСТЕНИЙ

Главнейшими факторами, обусловливающими специфические особенности формирования грунтовых вод с неглубоким залеганием в засушливых областях, являются климатические и биологические факторы.

Характерные черты климата — высокая температура и ничтожное количество осадков — создают благоприятные условия для интенсивного испарения грунтовой воды. Имеющийся материал говорит, однако, о том, что испарение с поверхности капиллярной зоны играет существенную роль лишь при очень неглубоком залегании поверхности грунтовых вод, как правило, меньшем, чем высота капиллярного поднятия. С увеличением глубины интенсивность испарения чрезвычайно быстро убывает, и уже при сравнительно небольшой глубине залегания поверхности грунтовых вод испарение почти нацело прекращается.



Фиг. 1. Испарение грунтовой воды в зависимости от глубины ее залегания, выраженное в % от испарения с открытой водной поверхности. Испарители ∅ 3.7 м. Мильфордская опытная станция США.

1 — коричневый тяжелый суглинок; *2* — коричневая глина с ненарушенной структурой.

Так, например, специальными исследованиями, проведенными в Калифорнии [1], было установлено полное отсутствие непосредственного испарения из песчаной почвы, лишенной растительности, если глубина залегания грунтовых вод превышала 1.2 м, и очень слабое испарение при глубине стояния грунтовых вод около 0.6 м в тех же условиях.

Специальные опыты, поставленные на Мильфордской опытной станции (США), дали сходные результаты для глинистой почвы [2]. Фиг. 1 иллюстрирует эту зависимость величины испарения из почвы (в % от испарения со свободной водной поверхности) от различной глубины стояния грунтовых вод. Из графика видно, что при глубине залегания поверхности грунтовых вод, превышающей 25—30 см, величина испарения из почвы составляла около 30% от испарения со свободной водной поверхности, а при глубине около 75 см эта величина снижалась до 10%. В абсолютных цифрах величина испарения из почвы при глубине залегания грунтовых вод в среднем

1.5 м составила за период апрель — октябрь (1926 г.) 67 мм, в то время как величина испарения со свободной водной поверхности за тот же период достигла 1194 мм; при глубине в среднем около 90 см соответствующие цифры за период июль — октябрь (1926 г.) оказались равными 91 мм и 813 мм, а при глубине около 30 см за период июнь — октябрь (1926 г.) — 257 и 1058 мм соответственно.

Аналогичные цифры были получены в 1930 г. Ф. П. Саваренским в Муганской степи, где специальные наблюдения над величиной испарения из почвы показали столь же резкое уменьшение количества испаряющейся воды по мере увеличения глубины залегания грунтовых вод [3]. За июнь (1930 г.) испарение со свободной водной поверхности составляло 246.66 мм. За тот же месяц с поверхности почвы испарилось: при глубине залегания уровня воды в 10 см — 186.31 мм, или 75.3% от испарения со свободной водной поверхности; при глубине 25 см — 60.56 мм, или 24.5%, и при глубине 50 см только 15.8 мм, или 6.4% от испарения со свободной водной поверхности.

Приведенные материалы достаточно определенно говорят о том, что непосредственное испарение практически влиять на формирование состава грунтовых вод может лишь при глубине залегания менее 2—2.5 м. Подобные условия в большинстве случаев наблюдаются только в центральных частях депрессий.

Значительно более универсальным и шире распространенным фактором расходования и формирования состава грунтовых вод является биологический фактор — транспирационная деятельность растительного покрова. Имеющийся в настоящее время фактический материал дает достаточное представление об огромном количестве воды, извлекаемой растениями из зоны развития корневой системы и испаряемой далее ими в атмосферу. Специальные наблюдения, проведенные и в СССР и за рубежом, в частности в США [1, 2], указывают, что в некоторых случаях транспирационное испарение превышает испарение со свободной водной поверхности. Особенное значение транспирационное испарение приобретает в условиях засушливого климата.

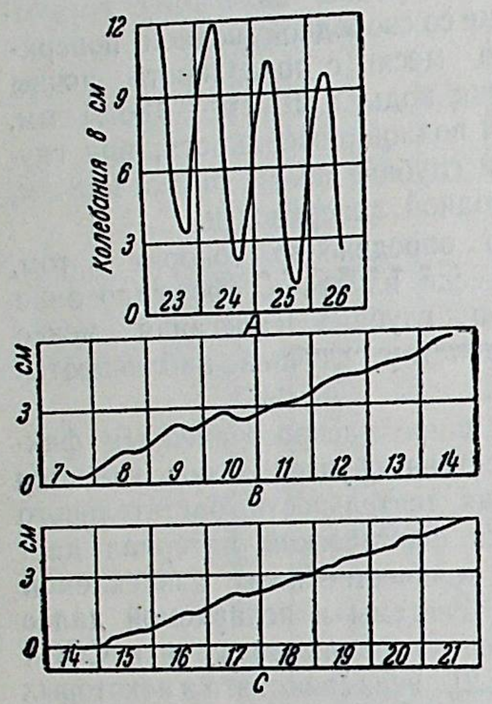
Если во влажном климате необходимую для своего роста влагу растения могут извлекать из приповерхностной зоны, выше уровня грунтовых вод, где достаточная увлажненность поддерживается за счет периодического выпадения более или менее обильных атмосферных осадков, то в засушливом климате единственным постоянным источником влаги для корневой системы растений является грунтовая вода, включая и связанную с ней капиллярную зону.

С точки зрения расходования грунтовых вод особенное значение имеет группа растений *Phreatophytes*, описанная О. Э. Мейнцер [6]. Растения из группы фреатофитов обладают корневой системой, спускающейся непосредственно к капиллярной зоне, а иногда проникающей и в зону насыщения. В процессе своей жизнедеятельности эти растения, подобно насосам, выкачивают воду из зоны насыщения, поддерживая ее уровень на определенной глубине.

В поисках постоянного источника увлажнения корни некоторых фреатофитов достигают очень большой длины, проникая до глубины 20—30 м.

К группе фреатофитов относятся разнообразные растения, начиная от таких хорошо известных представителей водолюбивых растений, как некоторые виды осок, камыша, рогоза, тростников и т. д., до растений, имеющих большое сходство с группой ксерофитов, например: *Distichlis spicata* (salt grass), *Prosopis grandulosa* и др.

К фреатофитам относится и большинство солеустойчивых видов (Halophytes), распространенных на сильно засоленных почвах засушливых районов с неглубоко залегающей грунтовой водой, как, например: *Allenrolfea occidentalis*, некоторые виды *Salicornia*, *Suaeda*, *Atriplex*, *Sporobulus* и др. Из древесной растительности, обычно распространенной во влажных областях, к группе фреатофитов относятся некоторые виды ив, тополя, березы, ясеня и др. Типичными фреатофитами являются также такие растения, как некоторые виды пальм, бузины, крыжовника, терновника, черники и мн. др. К этой же группе относится и хорошо известная в засушливом поясе люцерна (*Alfalfa*).



Фиг. 2. Суточное колебание уровня грунтовых вод в заросли ив. По Whit'y.

A — период интенсивной вегетации; август 1926 г.; *B* — прекращение вегетации; восстановление сниженного за лето уровня грунтовых вод; октябрь, 1926 г.; *C* — то же.

В заслушливом климате фреатофитная растительность, потребляя в районах своего интенсивного развития огромные количества воды, является основным фактором расходования грунтовых вод и формирования их химического состава.

Тесная связь, существующая между жизнедеятельностью фреатофитной растительности и уровнем грунтовых вод, весьма наглядно иллюстрируется результатами наблюдений, произведенных в одном из засушливых районов США (долина Эскалант в штате Ута). Записи, полученные по наблюдательным скважинам в течение трех лет (1925—1927), показали, что повсюду в районах распространения фреатофитной растительности в период вегетации на фоне общего равномерного снижения уровня грунтовых вод наблюдаются резко выраженные ежедневные колебания зеркала грунтовых вод с минимумом вечером и максимумом утром. Амплитуда колебаний варьирует в зависимости от вида растений и лежит в пределах от 3 до 12 см. Суточные колебания отсутствовали на участках, лишенных растительности вообще или растений из группы фреатофитов.

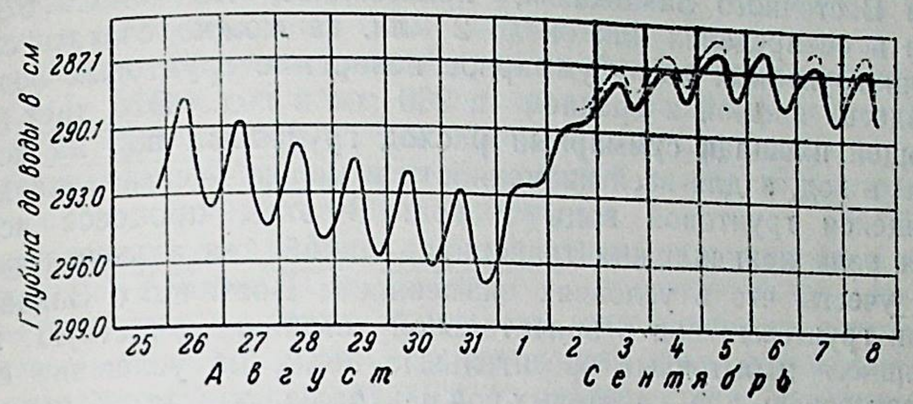
Колебания уровня грунтовых вод начинались весной, с началом вегетативного периода и с появлением листвы, и прекращались осенью после морозов с прекращением вегетации, а на участках с культурными растениями (люцерной) — после уборки урожая.

Фиг. 2 иллюстрирует характер колебаний уровня грунтовых вод в заросли молодых ив. В период вегетации (график *A*) суточные колебания достигали 9.5 см, а уровень грунтовых вод непрерывно понижался со скоростью 2—2.5 см в сутки. Осенью, после опадения листвы и прекращения вегетации, суточные колебания прекратились, и началось постепенное общее восстановление уровня грунтовых вод (графики *B* и *C*).

Фиг. 3 характеризует влияние на колебания уровня грунтовых вод посевов люцерны. Резко выраженные суточные колебания уровня

немедленно прекратились после скашивания люцерны, а прогрессивное снижение уровня грунтовых вод сменилось при этом его повышением. По данным Whit'a, за период май — сентябрь люцерна транспирирует до 600 мм.

Примерные подсчеты баланса грунтовых вод низменности Восточного Закавказья, произведенные в последние годы, также подтвердили исключительное значение транспирации растений в расходной



Фиг. 3. Суточные колебания уровня грунтовых вод в поле с люцерной до и после ее скашивания. По Whit'y.

Скашивание люцерны 31 августа 1926 г., от 1 ч. до 6 ч. пополудни

части баланса с соответствующим влиянием на формирование состава грунтовых вод в центральных частях низменности. Некоторые данные для юго-восточной части низменности (Муганская степь) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расход на транспирацию некоторых растительных ассоциаций засушливых областей (по данным проф. Д. А. Шутова)

Характер растительности	Размер транспирации в год	
	в м³ с 1 га	в мм
Полынная полупустыня *(Artemisia, Hanseniana)*	735—1838	73.5—183.8
Солянковая полупустыня *(Salsola verrucosa, Salsola ericoides)*	До 1470	До 147.0
Группировка засоленных грунтов *(Salsola crassa, Petrosimonia, Bruchiata)*	857—1143	85.7—114.3
Группировка солончаков *(Halocnemum, Halostachys, Kalidium)*	571—1714	57.1—171.4
Tamaricetum и тугайный лес	2500	250
Водно-болотная группировка *(Phragmites)*	3030—4240	303.0—424.0

О большой роли транспирации растений в общем балансе грунтовых вод говорят и результаты наблюдений на Федченковской мелиоративной станции в Фергане. Согласно опытным данным, полученным на этой станции, суммарное испарение при глубине залегания грунтовых вод 2 м составляло 280 мм в год, а при глубине 2.5 м

200 мм в год. При залегании грунтовых вод глубже 5 м, по данным той же станции, испарение грунтовых вод, даже и при наличии растительного покрова, практически прекращается. Интересно отметить, что исходя из совершенно других соображений, нами была установлена [3] та же самая критическая глубина, при которой испарение грунтовых вод прекращается.

Весьма пока ориентировочные подсчеты, произведенные для низменности Восточного Закавказья, показывают, что около 67% всей площади в ее пределах или около 2 млн. га можно считать областью испарения грунтовых вод. Суммарное испарение грунтовых вод оценивается здесь цифрой в среднем в 230 мм в год. Это дает для 1 га испаряющей площади суммарный расход грунтовых вод на испарение в 2300 м³ в год, а для всей низменности в целом — свыше 4.5 млрд. м³ испаряющейся грунтовой воды в год. В этом процессе испарения огромная роль принадлежит транспирационной деятельности растений.

Если учесть, что в условиях низменности Восточного Закавказья в испарении грунтовых вод в значительной степени участвуют инфильтровавшиеся избыточные оросительные воды, не успевшие еще принять характерную для грунтовых вод центральных частей низменности высокую минерализацию, и если ориентировочно принять содержание солей в ежегодно испаряющемся слое грунтовой воды только в 1 г на 1 л, то суммарное количество солей, ежегодно остающееся в пределах низменности вследствие испарения грунтовых вод, составит огромную цифру в 4.5 млн. т, или 2.25 т на 1 га. Очевидно, что эти соли и должны рассматриваться как источник непрерывно растущей минерализации грунтовых вод и засоления почвогрунтов низменности.

В условиях непрерывного подтока воды извне, как это имеет место в межгорных депрессиях, процессы испарения должны обусловливать постепенное концентрирование солей в грунтовых водах центральных частей депрессий. На определенном этапе это повышение минерализации приводит грунтовые воды к глубокой метаморфизации, связанной со следующими процессами.

а) Достижение некоторыми солями ($CaCO_3$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$) предела своей растворимости в данных условиях, что обусловливает выпадение их в твердом виде с обогащением раствора более легкорастворимыми соединениями ($NaCl$, $Na_2SO_4 \cdot nH_2O$).

б) Усиление и изменение характера обменных реакций между катионами раствора и обменным комплексом глинистых пород. Это приводит, в частности, к постепенному увеличению в породах поглощенного натрия и накоплению вытесняемого из поглощающего комплекса кальция в форме труднорастворимых соединений ($CaCO_3$, $CaSO_4$), а в воде — в виде хлорида кальция.

в) Возникновение специфических реакций, характерных для концентрированных растворов, как, например, начинающееся после выпадения сульфата кальция взаимодействие сульфата магния (раствор) с карбонатом кальция (твердая соль). Это взаимодействие приводит к образованию и выпадению из раствора доломита и новых порций гипса и обогащению раствора хлоридами магния (реакция Haidinger, 1847). В дальнейшем, после выпадения сульфатов магния, происходит взаимодействие хлорида магния (раствор) с тем же карбонатом кальция (твердая соль). Эта реакция приводит к образованию и выпадению доломита и обогащению раствора хлоридами кальция (реакция Maniniac, 1849).

Реакции Хайдингера способствует повышенная концентрация хлорида натрия, обычно имеющая место в концентрированных природных рассолах.

Транспирационная деятельность растительности, помимо увеличения общей минерализации грунтовых вод, обусловливает ряд специфических процессов: а) вследствие избирательного поглощения растениями определенных элементов (в первую очередь K) она приводит к изменению состава солей в растворе и б) поглощенные растениями элементы переносит в поверхностные слои почвы или удаляет их за пределы данной области вместе с уборкой урожая культурных растений (хлопок, рис и т. п.). Таким образом транспирация растений действует как в направлении общего повышения минерализации грунтовых вод, так и в направлении изменения элементов состава солей вследствие избирательного поглощения элементов растениями.

В ирригационных районах значительным искусственным фактором формирования грунтовых вод являются поливные воды. Их влияние сказывается прежде всего в том, что они приносят дополнительное количество солей со стороны, причем состав этих солей может более или менее значительно отличаться от состава солей, свойственного геохимической обстановке орошаемого района, что приводит, как известно, к геохимическим противоречиям. Кроме того, поливные воды вмывают в грунтовые воды соли, накапливающиеся в поверхностных слоях почвы, как путем простого испарения поднимающихся снизу растворов, так и в процессе минерализации растительных остатков, избирательно поглотивших определенные элементы.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА ГРУНТОВЫХ ВОД

Основные закономерности формирования химического состава грунтовых вод в межгорных депрессиях засушливого пояса, типа низменности Восточного Закавказья, в общих чертах были сформулированы нами несколько лет тому назад [7, 8]. К тем же выводам пришел Ф. П. Саваренский [10]. В настоящее время на основе новых материалов можно значительно уточнить и дополнить прежние выводы.

При детальном изучении химизма грунтовых вод засушливых районов оказалось весьма полезным детальное подразделение вод по соотношению анионов и катионов. Эта классификация приведена на фиг. 4 и в табл. 2. Здесь каждому из трех анионов присваивается индекс, обозначаемый римскими цифрами (I — Cl, II — SO_4, III — HCO_3), а каждому из трех катионов — индекс, обозначенный арабскими цифрами (1 — Na, 2 — Mg, 3 — Ca). Индекс может быть простым и сложным в зависимости от наличия одного или нескольких преобладающих ионов в воде. Каждый тип воды обозначается двумя индексами — римским и арабским. Например, хлоридно-натриевая вода имеет индекс I 1, сульфатно-натриевая II 1, гидрокабонатно-кальциевая III 3; эта же вода, но с повышенным содержанием магния,— III 3_2, сульфатно-хлоридно-натриево-магниевая I II 1—2 и т. д.

С помощью этой дробной классификации оказалось возможным в некоторых случаях детально проследить ход последовательной метаморфизации воды по мере ее движения к центру низменности. Главнейшие типы вод, выделенные на основе указанной классификации для низменности Восточного Закавказья, приведены в табл. 3 (средние значения; выведены из весьма большого числа анализов по каждому типу).

Таблица 2

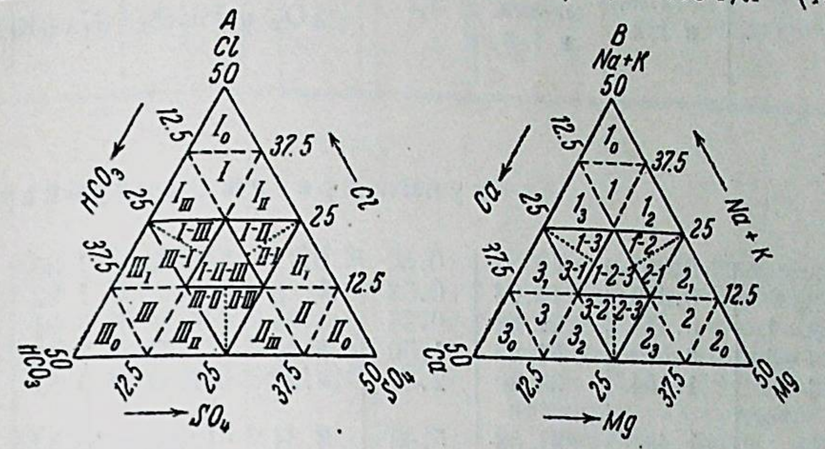
Классификация по содержанию анионов и катионов

Индекс	Анионы: Содержание в %-экв. Cl	SO_4	HCO_3	Наименование	Индекс	Катионы: Содержание в %-экв. Na	Mg	Ca	Наименование
I_0	≥ 37.5	≤ 12.5	≤ 12.5	Собственно хлоридные	1_0	≥ 37.5	≤ 12.5	≤ 12.5	Собственно натриевые
I	25—37.5	$\leq\leq 12.5$	$\leq\leq 12.5$	Хлоридные	1	25—37.5	$\leq\leq 12.5$	$\leq\leq 12.5$	Натриевые
I_{II}	25—37.5	12.5—25	≤ 12.5	Хлоридные с повышенным содержанием сульфатов	1_2	25—37.5	12.5—25	≤ 12.5	Натриевые с повышенным содержанием магния
I_{III}	25—37.5	< 12.5	12.5—25	Хлоридные с повышенным содержанием гидрокарбонатов	1_3	25—37.5	< 12.5	12.5—25	Натриевые с повышенным содержанием кальция
II_0	≤ 12.5	≤ 37.5	≤ 12.5	Собственно сульфатные	2_0	≤ 12.5	≥ 37.5	≤ 12.5	Собственно магниевые
II	$\leq\leq 12.5$	25—37.5	$\leq\leq 12.5$	Сульфатные	2	$\leq\leq 12.5$	25—37.5	$\leq\leq 12.5$	Магниевые
II_I	12.5—25	25—37.5	≤ 12.5	Сульфатные с повышенным содержанием хлоридов	2_1	12.5—25	25—37.5	≤ 12.5	Магниевые с повышенным содержанием натрия
II_{III}	< 12.5	25—37.5	12.5—25	Сульфатные с повышенным содержанием гидрокарбонатов	2_3	< 12.5	25—37.5	12.5—25	Магниевые с повышенным содержанием кальция
III_0	≤ 12.5	≤ 12.5	≥ 37.5	Собственно гидрокарбонат.	3_0	≤ 12.5	≤ 12.5	≥ 37.5	Собственно кальциевые
III	$\leq\leq 12.5$	$\leq\leq 12.5$	25—37.5	Гидрокарбонатные	3	$\leq\leq 12.5$	$\leq\leq 12.5$	25—37.5	Кальциевые
III_I	12.5—25	≤ 12.5	25—37.5	Гидрокарбонатные с повышенным содержанием хлоридов	3_1	12.5—25	≤ 12.5	25—37.5	Кальциевые с повышенным содержанием натрия
III_{II}	< 12.5	12.5—25	25—37.5	Гидрокарбонатные с повышенным содержанием сульфатов	3_2	< 12.5	12.5—25	25—37.5	Кальциевые с повышенным содержанием магния
I—II	15.5—35	12.5—25	≤ 12.5	Хлоридно-сульфатные	I—2	12.5—25	12.5—25	≤ 12.5	Натриево-магниевые
I—III	12.5—25	≤ 12.5	12.5—25	Хлоридно-гидрокарбонатные	I—3	12.5—25	≤ 12.5	12.5—25	Натриево-кальциевые
II—III	≤ 12.5	12.5—25	12.5—25	Сульфатно- гидрокарбонатные	2—3	≤ 12.5	12.5—25	12.5—25	Магниево-кальциевые
I—II—III	12.5—25	12.5—25	12.5—25	Хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатные	I—2—3	12.5—25	12.5—25	12.5—25	Натриево-магниево-кальциевые

В этой же таблице указаны характерные условия распространения каждого типа.

Как видно из табл. 3, основными типами грунтовых вод низменности являются:

1) Пресные гидрокарбонатно-кальциевые воды с общей минерализацией, по данным отдельных анализов, от 0.18 г/л до 2.2 г/л, а по средним данным от 0.37 г/л (тип $III_0\,3$) до 1.48 г/л (тип $III_1\,1_2$).



Фиг. 4. Классификация вод по содержанию анионов и катионов. *A* — ам; *B* — классификация по катионам.

2) Сульфатно-натриевые воды с весьма широким диапазоном изменения общей минерализации: для отдельных анализов от 0.89 г/л до 89.89 г/л, а по средним данным от 1.83 г/л (тип $II_{III}\,1$) до 70.61 г/л (тип $II\,1_2$).

3) Хлоридно-натриевые высокоминерализованные воды, с сухим остатком, варьирующим для отдельных анализов от 26.4 г/л до 166.7 г/л, а по средним значениям от 38.76 г/л (тип $I_0\,1_2$) до 86.01 г/л (тип $I_0\,1$).

Поведение каждого из шести главных ионов, формирующих состав вод, по мере роста минерализации различно и обусловливается индивидуальными особенностями иона, для рассматриваемых нами условий, в первую очередь растворимостью образуемых им солей.

Среди катионов крайним постоянством отличается относительное содержание (в %-экв.) магния, которое колеблется для всех типов вод в небольших пределах от 9 до 12 %-экв., независимо от общей минерализации. Относительное содержание кальция с ростом общей минерализации уменьшается, а относительное содержание натрия увеличивается. Так, в пресных гидрокарбонатно-кальциевых водах содержание кальция достигает 30%-экв., а в высокоминерализованных разностях сульфатных и хлоридных вод опускается до 0.1—2%-экв. Соответственно содержание натрия меняется от 8—10%-экв. до 40%-экв.

Среди анионов поведение гидрокарбонатного иона аналогично поведению иона кальция. Его содержание меняется от 40—45%-экв. в пресных водах до долей %-экв. в соленых водах и рассолах. Поведение иона хлора и сульфатного иона в разных случаях различно. В хорошо промытых участках предгорных равнин содержание иона хлора ничтожно и, как правило, ниже 10%-экв. Наоборот, в центральных застойных частях депрессии содержание иона хлора составляет до 45%-экв. всех ионов, образуя хлоридно-натриево-кальциевые воды. Сульфатный ион вообще широко распространен в грунтовых водах низменности, но миграция его во многих случаях ограничивается обра-

Таблица 3

Характерные типы грунтовых вод низменности Восточного Закавказья

№	Индекс	Средний сухой остаток, в г/л	Средняя минерализац., мг-экв. в 1 л	Среднее содержание ионов, мг-экв. в 1 л						Среднее содержание ионов, в %-экв.						Na/Cl	Условия формирования и область распространения
				Cl	SO_4	HCO_3	Na+K	Mg	Ca	Cl	SO_4	HCO_3	Na+K	Mg	Ca		
А. Группа пресных гидрокарбонатных и гидрокарбонатно-сульфатных вод																	
1	III_0 3	0.367	12.88	0.50	0.72	5.22	1.35	1.53	3.56	3.9	5.6	40.5	10.6	12.1	27.3	2.7	Краевые (подгорные) зоны в условиях подтока гидрокарбонатных вод и интенсивной циркуляции их в крупнообломочных хорошо промытых породах. Минерализация увеличивается по направлению к центру низменности
2	III 3_1	0.460	15.04	0.58	1.56	5.88	1.92	1.62	3.98	3.8	10.4	35.8	12.8	10.8	26.4	3.4	
3	III_{II} 3—1	0.671	21.68	0.84	3.61	6.39	3.91	2.26	4.67	3.9	16.6	29.5	18.0	10.4	21.6	4.6	
4	II-III 1—3	0.999	31.28	1.50	6.64	7.50	7.15	3.44	5.05	4.8	21.2	24.0	22.9	10.9	16.2	4.6	
5	III-II 1—3	1.154	35.80	2.21	8.22	7.47	9.91	3.05	4.94	6.2	23.0	20.8	27.7	8.5	13.8	4.5	
6	III_I 1_2	1.480	41.58	5.43	3.34	12.02	10.54	6.64	3.61	13.1	8.0	28.9	25.4	15.9	8.7	1.9	Приречные зоны, опресненные за счет инфильтрации речных вод
7	III_{II} 1—2—3	1.040	32.74	2.01	4.90	9.45	7.42	4.28	4.72	6.1	15.1	28.8	22.8	12.9	14.3	3.7	
Б. Группа сульфатных вод																	
8	II_{III} 1	1.830	67.40	3.35	18.61	11.76	21.03	7.34	5.33	6.0	27.6	17.4	31.3	10.8	7.9	5.2	Периферическая часть краевой зоны в условиях интенсивной циркуляции в хорошо промытых породах. Дальнейшее увеличение минерализации к центру низменности (ср. анализы № 1—5)
9	II_0 1	12.870	354.42	26.51	138.75	11.95	105.51	43.75	27.95	7.5	39.1	3.4	29.8	12.3	7.9	3.9	
10	II_0 1_0	27.950	815.20	64.65	332.67	10.05	307.38	71.61	27.88	7.9	40.9	1.2	37.7	8.8	3.5	4.7	
11	II_0 1_2	70.610	1945.50	166.27	794.77	11.72	680.79	255.43	36.5	8.3	41.1	0.6	35.0	13.1	1.9	4.2	
12	II_I 1_2	22.680	534.60	78.62	175.51	13.16	134.18	100.46	32.67	14.7	32.9	2.4	25.0	19.0	6.0	1.7	Переходные зоны к застойным хлоридным водам центральной области
13	II_I 1	67.390	2401.60	440.99	751.16	8.63	881.98	271.68	48.31	18.3	31.3	0.4	36.7	11.3	2.0	2.0	
14	II_0 1—2—3	7.16	200.00	11.40	81.00	7.60	37.80	36.40	25.80	5.7	40.5	3.8	18.8	18.3	12.9	3.3	Краевые зоны в условиях подтока сульфатных вод по периферии низменности
15	II_0 1_2	15.76	447.70	27.28	182.97	13.58	135.78	60.54	27.50	6.1	40.8	3.0	30.4	13.5	6.1	5.0	
16	II_0 1	48.64	1384.8	82.04	600.00	10.38	423.02	152.40	116.97	5.9	43.3	0.8	30.5	11.1	8.4	5.0	
В. Группа хлоридных вод																	
17	I_{II} 1	44.96	1432.4	452.78	245.67	17.81	520.29	121.22	74.23	31.6	17.1	1.3	36.4	8.4	5.2	1.2	Центральная застойная область с остатками морских осадков
18	I_0 1_2	38.76	1222.9	533.08	72.25	6.13	888.78	153.39	119.23	43.7	5.8	0.5	27.6	12.6	9.8	0.6	
19	I_0 1	86.01	2872.5	1262.1	169.67	4.57	962.20	346.09	127.83	43.9	5.9	0.2	33.5	12.0	4.5	0.8	
Г. Каспийское море																	
20	I_{II} 1_2	12.65	—	148.7	62.7	19.0	137.1	59.8	16.4	34.8	14.7	0.5	32.2	14.0	3.8	0.9	

зованием труднорастворимого гипса. На отдельных участках сульфатный ион образует высокоминерализованные разности сульфатно-натриевых вод.

С точки зрения вероятного солевого состава все типы вод, за исключением хлоридных, характеризуются наличием глауберовой соли и отсутствием хлоридов щелочных земель. Коэффициент $\frac{Na}{Cl}$ колеблется для них от 2 до 5. Хлоридные воды с коэффициентом $\frac{Na}{Cl}$ порядка 0.5—0.8 характеризуются наличием хлоридов магния, а местами и кальция (хлоридно-натриево-кальциевые воды).

По классификации Пальмера, хлоридные и сульфатные воды относятся к III классу; среди карбонатных же имеются разности, относящиеся к I классу вод.

По вопросу о процессах формирования химического состава грунтовых вод междугорных депрессий типа низменности Восточного Закавказья можно высказать следующие соображения.

Пресные гидрокарбонатно-кальциевые воды генетически связаны с инфильтрацией пресных речных вод того же состава. На это отчетливо указывают ограниченные области их распространения — конусы выноса горных рек в пределах предгорных наклонных равнин и вытянутые вдоль рек узкие полосы в области распространения двух других типов вод. С удалением от источника питания их минерализация постепенно увеличивается, состав меняется, и гидрокарбонатно-кальциевые воды переходят в одну из разновидностей сульфатных или хлоридных вод.

Сульфатно-натриевые воды типичны для предгорных наклонных равнин. Они или генетически связаны с подтоком сульфатно-натриевых вод со стороны засоленных коренных пород, или являются результатом метаморфизации пресных гидрокарбонатно-кальциевых вод, часто имеющих в своем составе повышенное содержание сульфатов. Общий сульфатный облик вод предгорных равнин в пределах низменности Восточного Закавказья связан с особенностями литологии окружающих горных областей и объясняется наличием, с одной стороны, сульфидных руд в области Малого Кавказа, а с другой — гипса, в изобилии присутствующего как в коренных породах, так и в делювиально-пролювиальных шлейфах предгорных равнин. Кроме того, третичные отложения предгорий Большого Кавказа обогащены сернокислым натрием. Общая минерализация сульфатных вод увеличивается от периферии к центральным частям низменности, вниз по уклону грунтовых вод.

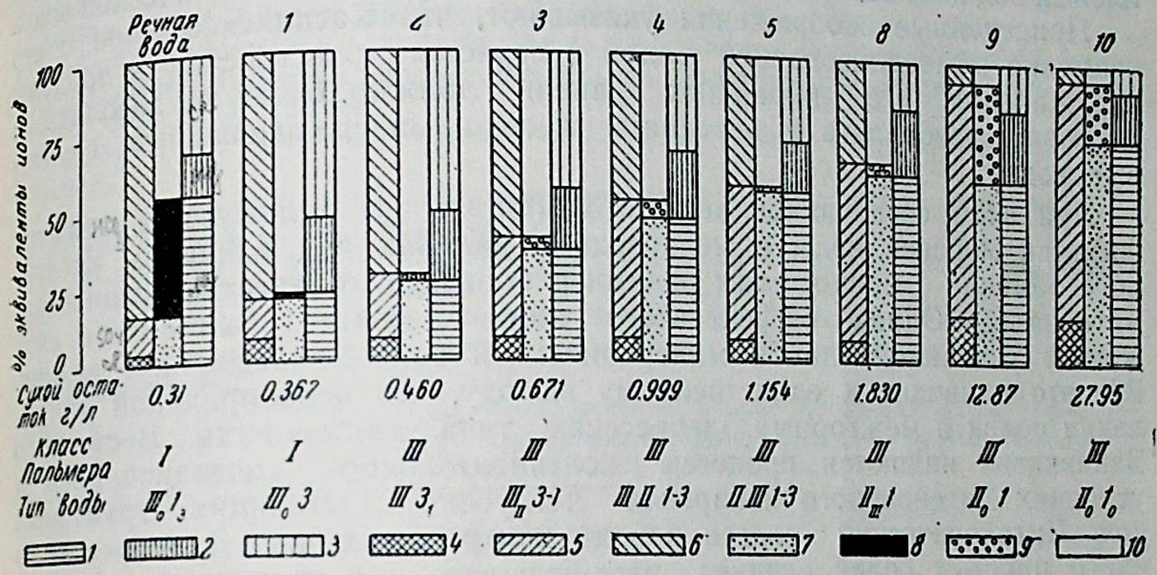
Один из интересных случаев постепенной метаморфизации пресных гидрокарбонатно-кальциевых вод и перехода их в высокоминерализованные сульфатно-натриевые воды приведен на фиг. 5. Изображенные на нем типы вод отвечают анализам № 1—5 и 8—10 табл. 3.

На фиг. 5 анализы расположены в порядке постепенной естественной смены соответствующих типов вод по направлению от гор к центральной части низменности. Кроме того, там же дан типовой анализ речных вод, питающих здесь грунтовые воды.

Область циркуляции этих вод на всем ее протяжении сложена континентальными аллювиально-пролювиальными песчано-галечниковыми породами с прослоями суглинков и глин того же генезиса. Количество последних увеличивается с удалением от гор. В этих условиях обменные реакции не могут играть сколько-нибудь существенной роли в формировании состава вод, и причину их метаморфизации следует искать

в каких-то других процессах. В рассматриваемых условиях такими процессами прежде всего являются: растворение гипса, приводящее к обогащению воды сульфатами, и выпадение труднорастворимого $CaCO_3$, содержание которого по мере обогащения воды гипсом достигает предела растворимости.

В условиях непрерывного подтока слабо минерализованных грунтовых вод гидрокарбонатно-натриево-кальциевого типа, циркулирующих в толще рыхлых пролювиальных накоплений предгорной равнины и выклинивающихся в виде многочисленных источников (зона Кара-су),



фиг. 5. Пример метаморфизации грунтовых вод в промытых отложениях предгорной равнины.

1 — Na; *2* — Mg; *3* — Ca; *4* — Cl; *5* — SO_4; *6* — HCO_3; *7* — 1-я соленость; *8* — 1-я щелочность; *9* — 2-я соленость; *10* — 2-я щелочность.

эти процессы должны постепенно повышать в воде концентрацию иона натрия и сульфатного иона, что и наблюдается в действительности. Интересно отметить, что к этой зоне приурочено значительное развитие луговых мергелей, указывающих на выделение из воды избыточного $CaCO_3$.

Дальнейшее быстрое повышение минерализации (анализы № 9—10) происходит уже в зоне неглубокого залегания грунтовых вод и сопровождается увеличением второй солености за счет продолжающегося сокращения относительного содержания гидрокарбонатного иона. Этот процесс легче всего объяснить действием испарения, переводящего постепенно воду в типичные сульфатно-натриевые воды повышенной минерализации. Малое содержание хлора попрежнему указывает здесь на хорошую промытость отложений в условиях интенсивной циркуляции воды в рыхлых накоплениях предгорной равнины.

Хлоридно-натриевые высокоминерализованные воды, часто содержащие $CaCl_2$, распространены в центральных частях низменности. Наличие в области их распространения морских осадков явилось основанием для широко распространенного до сих пор мнения о том, что соленость морских отложений является основной причиной засоленности грунтовых вод этой зоны. Этому противоречат следующие факты.

Прежде всего, в пределах центральной части низменности верхняя толща новейших отложений мощностью до 20 м сложена преимущественно

аллювиальными, а не морскими отложениями. Последние залегают здесь обычно на значительной глубине.

Кроме того, минерализация воды краевых частей моря может значительно отличаться от нормальной солености океана, вплоть до полного ее опреснения. Это наблюдается там, где, подобно Кура-Араксинской низменности, в море впадали и впадают большие реки, опресняющие прибрежные участки, на что, кстати, неопровержимо указывает состав фауны, носящей солеватоводный облик [6].

Наконец, при отступании моря (а не при его высыхании) соленость иловых вод не может намного превышать соленость океанической воды.

Приведенные соображения указывают, что Каспийское море с его невысоко минерализованной водой в периоды трансгрессии в пределы окружающих его низменных равнин должно было не засолять, а наоборот, разбавлять и опреснять высоко минерализованные грунтовые воды.

При этом создавались весьма благоприятные условия для метаморфизации морской воды в мелководных заливах под влиянием катионного обмена с приносимым реками в большом количестве глинистым материалом. Однако эффект этого обмена должен был сильно снижаться указанной слабой минерализацией воды в опресненном заливе. Все это приводит к единственному выводу, что первопричиной накопления солей в межгорных депрессиях типа низменности Восточного Закавказья являются процессы континентального соленакопления в условиях интенсивного испарения неглубоко залегающих грунтовых вод. Литологический состав пород центральных частей депрессий в части простых солей следует рассматривать как вторичный, обусловленный выделением труднорастворимых соединений в процессе концентрирования вод. В этих условиях породы обогащаются карбонатами и сульфатами кальция, а вода — хлоридами натрия, магния и кальция.

По мере накопления в депрессии континентальных, в частности аллювиальных, отложений и повышения уровня ее поверхности будет повышаться и уровень грунтовых вод. Первично незасоленные континентальные осадки будут при этом насыщаться чуждыми им сильно минерализованными грунтовыми водами. Очевидно, что максимальная цифра минерализации грунтовых вод должна определяться в этом случае отношением скорости их засоления к скорости накопления осадков. Интересно отметить, что имеющиеся, правда немногочисленные пока, данные о степени засоления более глубоких зон в центральных частях депрессий (порядка 100—150 м) как к западу, так и к востоку от Каспия указывают на удивительное однообразие химического состава распространенных здесь подземных вод с общей минерализацией около 70—80 г/л.

Вместе с тем эти же данные указывают и на другую весьма интересную особенность застойных грунтовых бассейнов центральных частей депрессий — на их резкую отграниченность от гораздо менее минерализованных вод окружающих предгорных равнин.

Глубокие скважины, заложенные вне такого подземного бассейна, но в непосредственной близости от него, на всю свою глубину вскрывали значительно менее засоленные воды, часто притом иного, обычно сульфатного, типа. Эта обособленность указывает на резкие различия в условиях накопления солей в сравнительно глубоко залегающих и движущихся подземных водах предгорных равнин и в неглубоких

застойных водах центральных бассейнов в области интенсивного их испарения.

В заключение следует отметить, что процессы континентального засоления грунтовых вод еще слабо изучены, и многие из высказанных здесь положений нуждаются в более детальном освещении и подтверждении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Evaporation from soil and vegetation. Eng-News Rec., 8, 1934.
2. W. White. A Method of estimating Ground-Water Supplies based on discharge by Plants and Evaporation from Soil. Wat. Supply Pap., 659—A, 1932.
3. Ф. П. Саваренский и В. Ф. Мильнер. Отчеты Гидрогеологической части Управления Муганских опытно-строительных работ. Бюлл. Закавк. инст. водн. хоз., 1930, № 4, Тифлис.
4. O. Meinzer. Plants as indicators of Ground Water. Wat. Supply Pap., 577, 1927.
5. В. А. Приклонский. Гидрогеологические исследования в ирригационных районах. Тр. Моск. геол.-разв. инст., т. VI, 1937.
6. В. А. Приклонский. Растения как показатели грунтовой воды. Сб. обзор. иностр. литер. Ком. по делам геол. при СНК СССР, 1944.
7. В. А. Приклонский. Гидрогеологический очерк Мильской степи. 1930.
8. В. А. Приклонский. Гидрогеологический очерк низменности Восточного Закавказья. 1932.
9. Ф. П. Саваренский. Гидрогеологический очерк Муганской степи. 1930.
10. Ф. П. Саваренский. Кура-Араксинская низменность, ее грунтовые воды и причины их засоления. Почвоведение, 1929, № 1—2.

С. В. ЗОНН

ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВЫХ ВОД В ОРОШАЕМЫХ РАЙОНАХ

В орошаемых районах СССР происходит интенсивное накопление грунтовых вод. Основными источниками их формирования во многих случаях являются фильтрационные воды рек, оросительных каналов и поверхностно-оросительные воды.

Роль и влияние атмосферного увлажнения в орошаемых районах, благодаря преобладанию испарения над фильтрацией, весьма ограничена и может сказываться лишь в осенне-зимний период.

Влияние вод рек и оросительных каналов на накопление грунтовых вод наблюдается преимущественно в прибрежных зонах на расстоянии от нескольких сот метров до нескольких десятков километров. Влияние поверхностно-оросительных вод наиболее интенсивно на орошаемых площадях с растеканием их в стороны в зависимости от рельефа, густоты расположения орошаемых участков, гранулометрического состава и текстуры почв и грунтов. Установлено, что чем выше дисперсность почв и грунтов, тем медленнее происходит фильтрация вод как вертикальная, так и горизонтальная.

Особое значение приобретает неоднородно-слоистое строение грунтов, обусловленное резкими сменами гранулометрического состава по их профилю. При таких условиях интенсивность бокового движения вод и их накопления в виде одного или нескольких водоносных горизонтов приурочивается к прослоям с более легким гранулометрическим составом, заключенным между более глинистыми слоями. Это особенно характерно для районов, сложенных аллювиальными отложениями, например для Кура-Араксинской, Терско-Сулакской, отчасти Прикаспийской низменностей, для аллювиальных долин Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи и т. п. Приведем несколько примеров.

В дельте р. Терека при глинистом гранулометрическом составе грунтов, слагающих прирусловые части р. Таловки (рукав Терека), эффективное влияние прирусловой фильтрации речных вод прослежено на следующем расстоянии:

Расстояние от р. Таловки, в м . . .	150	250	450
Глубина уровня грунтовых вод, в см	150	160	500

Такую скорость фильтрации нельзя не признать большой.

При более слоистой текстуре и более облегченном гранулометрическом составе грунтов увеличение горизонтальной фильтрации еще

больше сказывается на повышении уровня потока фильтрующихся вод и его протяженности,[1] что подтверждают следующие данные:

Расстояние от р. Терека, в км	4.5	7.5	14.5	16.5
Глубина уровня грунтовых вод, в см	175	260	280	360

Не меньшее влияние оказывают и воды оросительных каналов:

Расстояние от оросительного канала, в м	150	350	600
Глубина грунтовых вод, в см . . .	130	135	140

Таким образом даже на расстоянии 600 м от оросительного канала значительного снижения фильтрации вод не наблюдается.

Можно было бы увеличить количество примеров, подтверждающих большое значение фильтрационных вод рек, ирригационных каналов и оросительных вод в формировании грунтовых вод по различным районам. Однако все они лишь несколько уточнили бы приведенные примеры фильтрации вод в зависимости от местных геологических и геоморфологических условий, от густоты водопроводящей сети и от способов и интенсивности орошения.

Фильтрацию в формировании грунтовых вод орошаемых районов нельзя рассматривать только как процесс физического порядка. С фильтрацией вод в большой степени связан характер минерализации грунтовых вод, изменяющийся в зависимости от химических и физико-химических процессов, происходящих при взаимодействии поверхностных минерализованных вод с грунтами.

Формирование минерализованных грунтовых вод происходит не от выщелачивания солей из первично засоленных грунтов. Грунты водного образования не отлагаются засоленными. Величина первоначального их засоления не больше минерализации вод, из которых они отложены, а нередко и значительно ниже ее. Засоление грунтов — явление вторичное, зависящее от последующего увеличения минерализации грунтовых вод в результате испарения. Первичная же засоленность грунтов ограничивается физико-механическими свойствами их. Можно считать установленным, что чем тяжелее гранулометрический состав грунтов, тем больше их первичная засоленность приближается к засоленности вод, иногда несколько превышая ее.

Так, воды Каспийского моря и грунты, находящиеся под их воздействием, имеют следующее содержание[2] Cl' и SO_4'':

	Cl'	SO_4''
Вода Каспийского моря	7.43	3.14
Поверхностный образец грунта	8.03	5.48

[1] Не исключается и влияние многоводности речного потока. Терек более многоводен, чем р. Таловка.

[2] Здесь и ниже результаты даны в мг-экв. на 100 г почвы. Содержание анионов и катионов солей в водах условно уменьшено в 20 раз, для того, чтобы приблизить сравнимость солевого состава вод и водных вытяжек из грунтов. В этом случае влагоемкость грунтов принята равной 50%.

Воды Терека в плавневых разливах и грунтах под ними характеризуются следующим солевым составом:

	Cl'	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$
Воды плавней	1.73	0.55	0.43	0.29	1.83
Грунты, затопленные плавневыми водами	2.34	2.56	1.75	1.25	2.65
Грунты вне зон затопления плавневыми водами	10.11	6.52	2.55	3.91	10.71

Несколько повышенное относительное содержание солей в грунте, затопленном плавневыми водами, по сравнению с грунтом, затопленным морскими водами, может быть объяснено более тяжелым иловато-глинистым гранулометрическим составом первых, а также возможным выпадением в осадок углекислой извести и гипса.

Такие же грунты и почвы, вышедшие из подводного существования, содержат значительно большее количество солей.

В орошаемых районах поверхностные воды в той или иной степени минерализованы. Их исходная минерализация и является основным источником обогащения солями грунтовых вод и насыщенных ими грунтов.

Среди факторов, усиливающих и увеличивающих соленакопление в грунтовых водах, первенствующее значение приобретают:

1) величина минерализации вод источников питания грунтовых вод;

2) интенсивность и условия испарения, как фактор концентрации солевого состава;

3) реакции химического и физико-химического взаимодействия между грунтами и грунтовыми водами.

Рассмотрим роль этих факторов более подробно в указанной последовательности.

1. Воды, применяемые для орошения, по степени и характеру минерализации весьма многообразны. В качестве крайних примеров таких вод, по этим показателям, приведем следующие:

	Сухой остаток, г/л	(мг-экв. в литре воды)						
		HCO_3'	CO_3''	Cl'	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$
Воды Терека	0.26	2.81	Нет	0.47	0.89	2.48	0.81	0·88
Воды оз. Балхаш . . .	1.42	5.00	0.56	7.78	8.64	0.98	3.6S	17.32

Орошение водами типа балхашских приводит к резкому возрастанию минерализации грунтовых вод на орошаемом массиве и колоссальному накоплению солей в почвах и грунтах. [1]

Воды типа р. Терека хотя и весьма слабо минерализованы, но и они ежегодно транспортируют в орошаемые районы огромное количество солей, концентрирующихся в грунтовых водах, грунтах и почвах.

Самые грубые подсчеты показывают, что при среднем расходе на обводнение и орошение дельты Терека около 4.25 м³/сек. воды, с средним содержанием солей около 0.3 г/л, только за один вегетационный период (180 дней) привносится до 2 млн. т солей. Даже если принять, что только 25% вод Терека расходуется на орошения и разливы

[1] Подобные воды могут с некоторым успехом применяться для орошения песчаных почв при дренированности их и для предварительной мелиорации гипсованием вод и почв.

то и тогда за каждый вегетационный период в почвах и грунтовых водах накапливается около 5 млн. ц солей.

В этих же условиях при «лиманном» или «чальном» способе полива на 1 га площади вносится до 2 т солей, а на всю орошаемую площадь до 70 тыс. га — около 100 тыс. т солей.

Таковы возможные размеры привноса солей из поверхностных вод при сравнительно незначительной их минерализации. Для рек других орошаемых районов (Аму-Дарья и Сыр-Дарья, Кура и Аракс), воды которых несколько более минерализованы, размеры соленакопления окажутся еще большими.

2. Соленакопление находится в связи с интенсивностью и условиями испарения грунтовых вод. Чем больше испарение, тем больше концентрации солевых аккумуляций в водах и грунтах. Местное перераспределение солей в грунтовых водах и грунтах находится в зависимости от особенностей строения рельефа.

Большое значение приобретают не столько резкие морфометрические изменения в рельефе территории, сколько весьма незначительные — не превышающие 1 м на 1 км. В таких условиях закономерности в засолении грунтов и грунтовых вод сводятся к тому, что в депрессиях рельефа возрастает минерализация вод, а в окружающих их повышениях — минерализация грунтов. Подобное распределение солей является следствием боковой инфильтрации вод из депрессий в повышения, их последующего капиллярного поднятия, внутрипочвенного и надпочвенного испарения с выделением солей на поверхности и на различных глубинах почво-грунтов, в зависимости от высоты капиллярного поднятия грунтовых вод.

Особенно резко выступает подобная закономерность при орошении почв в депрессиях. Однако все эти вопросы остаются почти не изученными. Можно лишь в общих чертах указать на то, что соленакопление в грунтовых водах и грунтах тем больше, чем выше температуры и меньше количество выпадающих атмосферных осадков в орошаемом районе.

3. Все многообразие химического и физико-химического взаимодействия поверхностных вод с грунтами в общих чертах может быть сведено к следующим процессам:

а) к росту минерализации, при неизменном качественном солевом составе;

б) к относительному увеличению содержания SO_4'' и $Na^{\cdot}$ за счет снижения $Ca^{\cdot\cdot}$ при неизменности относительной концентрации $Mg^{\cdot\cdot}$ и Cl';

в) к резкому, относительному и абсолютному повышению концентрации Cl' и $Na^{\cdot\cdot}$ при снижении $Ca^{\cdot\cdot}$.

Подобное изменение химизма грунтовых вод подтверждается приводимыми ниже данными (табл. 1). Они указывают на идентичность хода процессов формирования одних и тех же вод по химическому составу при фильтрации их как из рек, так и из каналов.

Некоторые различия в характере минерализации их обусловливаются следующим: 1) геоморфологическими условиями, с которыми связана скорость горизонтальной фильтрации вод, 2) характером засоления пород, 3) а в приморской части взаимоотношением с морскими водами.

Массовые анализы грунтовых вод орошаемых районов позволяют выделить наиболее распространенные по величине и характеру засоления типы вод (табл. 2).

Таблица 1

Изменение химического состава грунтовых вод в орошаемых районах в зависимости от удаленности от источников питания (в мг-экв./л)

№ п.п.	Местонахождение	Сухой остаток, г/л	HCO_3'	Cl'	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	
	I. Источники питания — воды реки								
1	Воды Терека	0.26	2.81	0.47	0.89	2.48	0.81		0.8
2	Грунтовые воды в 150 м от реки	0.225	5.17	0.35	1.29	3.27	0.4		3.1
3	То же, в 4.5 км от реки . . .	4.190	5.35	2.10	43.00	10.90	22.70		20.0
4	» » » 16.5 » » » . . .	8.042	5.70	3.71	82.00	18.20	48.00		25.2
5	» » » 41.0 » » » . . .	34.540	9.91	27.40	144.00	49.80	94.00		37.3
6	» » » 45 » » » . . .	38.180	10.55	200.10	167.90	45.40	157.70		175.5
	II. Источники питания — воды оросительных каналов								
7	В 150 м от оросит. канала . .	0.220	5.17	0.35	1.29	3.27	0.42		3.1
8	В 350 » » » » . .	4.690	7.22	23.40	45.10	26.40	18.10		31.2
9	В 800 » » » » . .	25.830	10.60	281.10	102.90	49.95	20.10		324.5

Все они закономерно располагаются по территории, последовательно сменяя друг друга. Нарушение подобной закономерности отмечается лишь на отдельных орошаемых массивах.

Итак, генезис засоления всех вод в орошаемых районах един и связан, как отмечалось, с двумя процессами: с концентрацией солей при испарении и взаимодействием с грунтами.

Наиболее ярко влияние первого процесса сказывается в переходе бикарбоната кальция в карбонат кальция и в осаждении его в грунтах

$$Ca(HCO_3)_2 = CaCO_3 + CO_2 + H_2O.$$

Подобный процесс наиболее характерен при переходе карбонатных и сульфатно-карбонатных вод в сульфатные и последующие. Известное значение испарение имеет и в выпадении из растворов гипса. Однако выпадение гипса в большей степени находится в связи с повышением его концентрации до предельной насыщенности, особенно в условиях антагонизма солей с одноименным анионным, но разнородным катионным составом.

Основное же последовательное изменение химизма грунтовых вод определяется главным образом взаимодействием их с грунтами, которое проявляется в трех основных формах: в выщелачивании солей из грунтов, в обменных реакциях солей вод с солями грунтов и в отношении солей вод в грунтах.

Формирование вод от карбонатных до сульфатных всецело обусловливается прямым увеличением их минерализации при выщелачивании солей из грунтов. В меньшей степени здесь выражены обменные реакции, влияние которых сказывается лишь в некотором нарастании в водах натрия за счет вытеснения им кальция из поглощающего комплекса грунтов.

Таблица 2

Химический состав грунтовых вод орошаемых районов[1] (в мг-экв/л)

№ п.п.	Характер грунтовых вод	Глубина залегания, в м	Сухой остаток, г/л	HCO_3'	Cl'	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	$Cl' : SO_4''$	$Na^{\cdot} : Ca^{\cdot\cdot}$
1	Речная вода .	—	0.260	2.81	0.47	0.89	2.48	0.81	0.88	0.5	0.3
2	Карбонатные	1.52	1.022	7.67	1.83	3.44	9.04	3.16	0.74	0.5	0.07
3	Сульфатно-карбонатные . .	2.27	1.321	7.11	4.33	9.23	11.09	5.57	7.09	0.5	0.6
4	Сульфатные .	1.50	4.816	6.21	8.91	53.8	31.30	21.50	16.11	0.2	0.5
5	Хлоридно-сульфатные . . .	1.30	9.420	9.10	57.10	65.00	35.00	50.00	46.20	0.9	1.3
6	Сульфатно-хлоридные . . .	4.10	23.260	10.20	217.90	125.00	27.50	65.80	259.40	1.75	9.4
7	Хлоридные .	3.00	116.19	5.17	1470.0	212.00	85.60	120.80	1480.77	6.9	17.3

Сульфатные воды представляют собой одну из первых фаз изменения карбонатных вод за счет увеличения концентрации сульфатов выщелачиванием из грунтов.

В водах от хлоридно-сульфатных до хлоридных нарастание поваренной и глауберовой солей происходит как за счет дальнейшего прямого накопления их при выщелачивании, так и в результате реакций осаждения.

На этой стадии в грунтах происходит осаждение главным образом $CaCO_3$, в результате хода следующих реакций:

$$Mg(HCO_3)_2 + CaSO_4 = MgSO_4 + CaCO_3 + H_2O + CO_2.$$
$$MgCO_3 + CaSO_4 = MgSO_4 + CaCO_3.$$

Вместе с тем энергичный ход обменных реакций приводит к замещению кальцием вод натрия в грунтах и к увеличению в водах поваренной и глауберовой солей. Повышение содержания этих же солей может находиться в связи и с выпадением из растворов гипса.

Возможен частный случай нарастания в водах хлоридности и магнезиальности — в результате влияния при определенных условиях морских вод, фильтрующихся в глубь материка, что отмечалось Ф. П. Саваренским [4] и С. В. Зонн [1].

[1] Северного Кавказа и Азербайджана—по исследованиям автора и материалам Гипровода.

Изложенное позволяет считать, что грунтовые воды орошаемых районов по химическому составу представлены, в основном, тремя типами: карбонатными, сульфатными и хлоридными.

В каждом из этих типов выделяются классы вод по соотношению Cl′ к SO''_4. Дальнейшее подразделение на виды или разновидности целесообразно строить по соотношению в них основных катионов ($Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$ и $Na^{\cdot}$).

Таким образом в таксономические единицы классификации грунтовых вод вкладывается следующее содержание:

Тип	Класс	Разность
по генезису накопления Cl′ и SO''_4	по соотношению Cl′ и SO''_4	по соотношению между $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$ и $Na^{\cdot}$

Преимущества подобного подхода связаны с возможностями сопоставления засоленности грунтов с засоленностью грунтовых вод. Однако эта система требует дальнейшей разработки и уточнений, главным образом в сопоставлении анализов вод с анализами почв и грунтов. Отмеченное пространственное распределение грунтовых вод по химическому составу нарушается вертикальной фильтрацией оросительных вод, которая отражается, главным образом, на степени минерализации, хлоридности и сульфатности вод, строго оконтуриваемых площадью орошения.

Ход этих процессов связан с величиной и характером засоления почв и грунтов, а также с химическим составом оросительных вод. Возможны два крайних варианта подобного воздействия с переходами между ними.

1. Минерализованные оросительные воды и незасоленные почвы. При этом происходит значительное засоление почв и резкое качественное изменение химизма вод. Большое значение здесь приобретает гранулометрический состав грунтов и почв; чем выше их дисперсность, тем активнее физико-химическое взаимодействие между ними. Опыт с фильтрацией балхашских вод через пески и суглинки подтверждает вышесказанное (табл. 3).

Таблица 3

Изменение состава балхашских вод при фильтрации через пески и суглинки (в мг-экв./л)

Содержание солей	HCO_3'	CO_3''	Cl′	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$ по разности
Песок							
В 2.5 л воды до фильтрации	12.50	1.40	19.45	21.60	4.95	9.20	40.80
То же, после фильтрации	8.71	1.49	18.85	22.86	7.13	11.51	33.27
Изменение состава вод	−3.79	+0.09	−0.60	+1.26	+2.18	+1.31	−7.53
Суглинок							
В 2.5 л воды до фильтрации	12.50	1.40	19.45	21.60	4.95	9.20	40.80
То же, после фильтрации	7.95	0.03	15.86	16.01	11.00	3.79	25.11
Изменение состава вод	−4.55	−1.32	−3.59	−5.59	+6.05	−5.41	−15.69

Значительное снижение в водах содержания $Na^{\cdot}$ и увеличение $Ca^{\cdot\cdot}$ происходит в результате обменных реакций между водами и грунтами (суглинками и песками, см. табл. 4).

Таблица 4

Изменение состава обменных оснований суглинка и песка при взаимодействии с балхашской водой

Способ обработки	Обменные основания в мг-экв.			Сумма оснований	В % от суммы		
	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$		$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$
Суглинок							
До промывки	11.85	0.50	0.35	12.70	93.30	3.94	2.76
После промывки	7.93	3.22	1.55	12.70	62.44	25.35	12.22
Песок							
До промывки	8.63	Нет	0.32	8.95	96.43	Нет	3.57
После промывки	8.13	0.10	0.35	8.58	94.76	1.17	4.07

2. Неминерализованные воды и засоленные почвы. В этом случае грунтовые воды резко обогащаются солями из почв и грунтов. Обменные реакции хотя и происходят, но затушевываются прямым вымыванием солей из почв. Они нарастают по мере выщелачивания солей. Подобную картину отображают экспериментальные данные табл. 5 по промывке солончака водами р. Таловки.

Таблица 5

Изменение солевого состава слабо минерализованных оросительных вод, фильтрующихся через толщу засоленной почвы[1] (в мг-экв./л)

	Воды р. Таловки (оросительные) (в мг-экв./л)	Почва[2] (мг-экв. на 100 г)	Те же воды, профильтровавшиеся через почву мощностью в 1 м[1] (в мг-экв./л)
Сухой остаток, г/л	0.327	35.143	18.707
HCO_3'	3.87	Не опред.	13.30
Cl′	0.52	27.54	13.55
SO_4''	1.01	444.18	224.74
$Ca^{\cdot\cdot}$	4.76	189.15	19.24
$Mg^{\cdot\cdot}$	1.23	132.71	63.42
$Na^{\cdot}$	0.25	149.86	159.44[3]

[1] Оросительная норма из расчета 18 тыс. м³ на га.

[2] Содержание солей дано суммарно во всей метровой толще по данным послойных определений солей в водной вытяжке.

[3] Избыток натрия произошел за счет содержания его в оросительных водах и вытеснения из поглощенного состояния.

Последовательность вымывания солей из почвы можно расположить в следующий ряд: $NaCl \rightarrow Na_2SO_4 \rightarrow MgSO_4 \rightarrow CaSO_4$. Благодаря преобладанию в оросительной воде солей $Ca^{\cdot\cdot}$ обменные реакции направлены на замещение в почвах $Na^{\cdot}$ на $Ca^{\cdot\cdot}$. Подобная же картина наблюдается и при непосредственном сопоставлении анализов вод оросительных с анализами грунтовых вод под орошаемой и прилежащей к ней неорошаемой площадями (табл. 6).

Таблица 6

Изменение состава грунтовых вод при орошении (в мг-экв./л)

	Оросительная вода	Грунтовые воды	
		под орошаемой площадью	под неорошаемой площадью
Сухой остаток, г/л	0.53	9.19	40.72
HCO_3'	Не опред.	3.10	12.50
Cl'	1.20	82.30	452.30
SO_4''	1.40	44.60	166.30
$Ca^{\cdot\cdot}$	2.80	42.00	44.50
$Mg^{\cdot\cdot}$	5.30	39.70	201.40
$Na^{\cdot}$	Не опред.	48.30	382.20
$Cl' : SO_4''$	0.8	1.9	2.7

При орошении происходит не только выщелачивание солей из почв, но и отток их вместе с грунтовыми водами к периферийным частям орошаемых массивов, являющихся естественными коллекторами солей. В связи с этим и стоит более резкая пространственная смена отдельных классов грунтовых вод, а также динамичность солевого состава вод в одной точке. Этим объясняется и наблюдающаяся «мозаичность» засоленности грунтовых вод на поливных массивах орошаемых районов. Однако при этом не нарушается генетическая схема формирования химического состава грунтовых вод, и вертикальная фильтрация не приводит к образованию новых типов и классов вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Банасевич, С. В. Зонн и др. Процессы засоления и рассоления почв в связи с грунтовыми водами, их засолением и влиянием Каспийского моря. Л., 1934.
2. С. В. Зонн. К вопросу о солевом режиме в песках пустыни Кара-Кумы при орошении и близком стоянии грунтовых вод. Почвоведение, 1942, № 5—6.
3. С. В. Зонн. О типах рассоления почв при орошении. Тр. Комисс. по ирриг. АН СССР, вып. 9, М.—Л., 1929.
4. Ф. П. Саваренский. Кура-Араксинская низменность, ее грунтовые воды и процессы их засоления. Почвоведение, 1929, № 1—2.

А. Н. БУНЕЕВ и Л. П. ХАРИТОНОВА

О ВОССТАНОВЛЕНИИ СУЛЬФАТОВ В ВОДЕ КРАИНСКИХ ИСТОЧНИКОВ В АТМОСФЕРЕ ВОДОРОДА

При изучении биохимического процесса сульфатредукции в минеральных водах возникают среди других следующие вопросы: 1) протекает ли процесс на контакте с твердыми породами, содержащими органическое вещество, или в самом растворе за счет растворенного органического вещества, 2) является ли процесс законченным. Последний вопрос имеет существенное практическое значение при оценке условий эксплоатации воды.

В некоторых случаях сульфаты в воде оказываются полностью восстановленными (Мацеста), и следовательно, дальнейшее накопление сероводорода в воде невозможно [1]. В других случаях, как, например, в Хиловских источниках, вода содержит и избыток сульфатов и органические вещества (гуминовые) и сульфатредуцирующие микроорганизмы, однако накопления H_2S в воде, помещенной в анаэробные условия, не происходит. При этом имеющиеся в растворе органические вещества, очевидно, оказываются непригодными для осуществления хода биохимической сульфатредукции [2].

Краинские сероводородные источники неглубокого происхождения [3] содержат значительное количество органических веществ в растворе, сульфаты и сульфатредуцирующие микроорганизмы, поэтому было бы весьма интересно выяснить возможность накопления в воде этих источников сероводорода в анаэробных условиях. Соответствующие опыты в этом направлении были поставлены в 1939 г. Л. П. Харитоновой [4]. В этих опытах в воде, помещенной под атмосферой водорода (по схеме опытов А. Д. Пельша [5]), наблюдался довольно высокий прирост сероводорода — до 65 мг на литр. Однако цифры содержания сероводорода получились сильно колеблющиеся, и на поверхности воды появились пленки серы, что указывает на окисление сероводорода, по-видимому, за счет кислорода, проникшего в прибор.

Вместе с тем, самый факт накопления значительных количеств сероводорода в воде без какой-либо добавки органических веществ представляется настолько интересным, что нами была предпринята в 1940 г. проверка этих наблюдений с возможно более тщательной постановкой опытов.

Пробы воды для опытов были взяты из трех сероводородных источников курорта «Краинка» — № 1, № 2 и № 3.

По своему химическому составу источники эти заметно различаются.

В табл. 1 для сравнения приводится состав сульфатно-кальциевой воды источника № 3: в результате ее метаморфизации и некоторого разбавления пресными водами образуются сероводородные источники [3].

Таблица 1

Химический состав сероводородных источников курорта „Краинка". Пробы взяты 10 XI 1934 г. Аналитик В. И. Бахман

№ источника	1		2		8		Гипсовый источник № 3	
Дебит	Самотека нет		3.33 л в мин.		Самотека нет		320 000 л в сутки	
Температура воды	8.0°		7.8°		—		7.2°	
В литре воды содержится	мг	мг-экв.	мг	мг-экв.	мг	мг-экв.	мг	мг-экв.
pH (опред. в лаборатории)	7.3	—	8.0	—	7.5	—	7.1	—
Катионы NH_4^+	2.5	0.14	1.9	0.11	9.4	0.52	0.4	—
$Na^+ + K^+$	22.3	0.97	45.8	1.99	88.6	3.85	3.2	0.14
Mg^{++}	43.5	3.58	49.4	4.06	57.9	4.76	50.6	4.17
Ca^{++}	424.1	21.17	542.1	27.06	387.5	19.34	578.8	28.86
Fe^{++}	Следы	—	Следы	—	Следы	—	Следы	—
		25.86		33.22		28.47		33.23
Анионы Cl^-	68.9	1.95	18.8	0.53	42.6	1.20	2.9	0.08
SO_4^{--}	739.0	15.39	1281.5	26.68	590.8	12.30	3989.4	29.11
HCO_3^-	513.6	8.42	357.5	5.86	904.6	14.83	244.6	4.01
HS^-	3.3	0.10	5.0	0.15	4.6	0.14	Нет	—
		25.86		33.22		28.47		33.20
H_2S своб.	15.6	—	9.3	—	31.9	—	Нет	—
Окисляются в мг кислорода	40.3	—	19.1	—	44.7	—	1.6	—
Удельный вес воды	1.0019	—	1.0028	—	1.0021	—	—	1.002
Сухой остаток при 180° С	1.572	—	—	—	1.624	—	—	—

Наименее измененной по сравнению с гипсовыми является вода источника № 2, содержащая наименьшее количество сероводорода и органических веществ при высоком содержании сульфатов; более метаморфизованной является вода источника № 1 и наиболее метаморфизованной вода источника № 8.

Пробы воды набирались из колодцев на глубине около 1—1.5 м от поверхности с помощью следующего приспособления, устройство которого понятно из чертежа (см. фиг. 1).

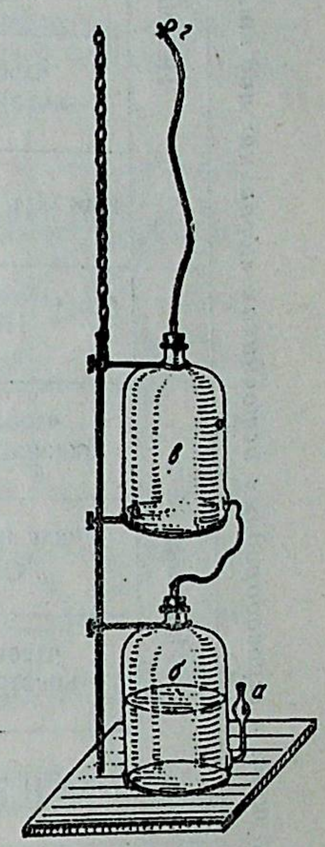
Тубусные склянки (*б*) и (*в*) укреплены на штативе одна над другой и соединены между собой каучуковой трубкой. Опустив штатив с бутылями на нужную глубину, открывали зажим (*г*), и вода поступала через фильтр (*а*) в бутыль (*б*) и далее в большую бутыль (*в*). В качестве фильтра служил тонкий слой ваты, проложенной между двумя кружками марли, закрывающий широкое отверстие пустой хлор-кальциевой трубки. Фильтр необходим был для того, чтобы задержать иловатые частички и FeS, легко взмучивающиеся со дна колодцев.

После набора пробы бутыль (*б*) доставлялась в лабораторию и присоединялась (с предосторожностями против попадания воздуха) к

аппарату Киппа с водородом; на пути водорода ставилась склянка Тищенко, наполненная водой.[1]

Отбирая через нижний тубус склянки пробы воды для анализа, мы одновременно через верхнее отверстие склянки могли вводить водород, сохраняя таким образом анаэробные условия. Эти условия работы при изучении сульфатредукции в воде предложены были А. Д. Пельшем [5].

Внешний вид воды в бутылях: источник № 8 — вода прозрачная, с едва заметным буроватым оттенком; источник № 2 — вода совершенно прозрачная, бесцветная; источник № 1 — вода слегка мутноватая с серым оттенком. После введения в бутыли водорода на поверхности растворов появились тонкие разорванные пленочки. На дне бутылей с пробами источников № 1 и № 8 — легкий осадок.



Фиг. 1.

Определения ΣH_2S, щелочности SO_4'' и окисляемости производились из 50 мл воды. Перед определением окисляемости из подкисленного раствора удалялся H_2S током водорода, окисляемость определялась в щелочном растворе на холоду по расходу 0.01 *n* раствора $KMnO_4$ с обратным иодометрическим титрованием (после подкисления) и выражалась в миллиграммах кислорода на литр воды.

Сводка всех полученных результатов дана в табл. 2.

Из табл. 2 можно видеть, что между 7 и 12 сутками от начала опыта в воде источников № 2 и № 8 начался закономерный непрерывный рост сероводорода. Замечательно то, что накопление ΣH_2S[2] шло с постоянной скоростью 7—8 мг в сутки. В пробе источника № 1, оставшейся необернутой черной бумагой, накопления ΣH_2S не происходило. Только около 27 VII, через 10 дней после того как бутыль была обернута черной бумагой, обнаружено было накопление ΣH_2S. Через такой же примерно промежуток времени после затемнения начался, как указано, процесс и в пробах источников № 2 и № 8.

Содержание ΣH_2S в источниках № 2 и № 8 с 7—8 мг в литре в начале опыта через 17—18 дней после возникновения процесса достигло 121—127 мг в литре. К сожалению, дальнейшие наблюдения были прерваны.

Одновременно с накоплением в растворе ΣH_2S наблюдалось и исчезновение сульфатов.

Количество сульфатов, исчезнувших из воды источников № 2 и № 8 за время с 13 по 23 VIII, составляет соответственно 3.7 и 3.8 мг-экв. в литре, прирост же ΣH_2S за то же время равен 67.6 и 68.3 мг, или 3.9 и 4.0 мг-экв. Таким образом ход накопления сероводорода в воде идет в количествах, эквивалентных исчезающим ионам SO_4''.

Щелочность воды источника № 8 вначале возрастает с 5.4 мг-экв. до 8.0 мг-экв., а затем падает до 5.1 мг-экв.; в воде источника № 2

[1] В опытах 1939 г. водород пропускался через растворы пирогаллола и $KMnO_4$.

[2] Суммы сернистых соединений ($H_2S + HS' + S_2O_3'' + SO_3''$), титруемых раствором иода.

Таблица 2

Результаты наблюдений над ходом сульфатредукции в сероводородных источниках «Краинки» под атмосферой водорода

Дата наблюдения	Источник № 2				Источник № 1				Источник № 8			
	Σ H_2S мг/л	Щелочность	SO_4'' мг-экв./л	Окисляемость	Σ H_2S мг/л	Щелочность	SO_4'' мг-экв./л	Окисляемость	Σ H_2S мг/л	Щелочность	SO_4'' мг-экв./л	Окисляемость
				pH				pH				pH
29 VII		4.80	28.11	4.8	10.3	7.04	23.13	6.9	6.9	5.40	23.20	9.0
5 VIII		—	—	—	12.5	—	—	—	7.4	—	—	—
10 VIII		—	—	—	13.6	—	—	—	15.1	—	—	—
12 VIII		—	—	—	11.3	—	—	—	28.0	—	—	—
13 VIII		4.90	26.36	—	11.5	6.94	22.70	—	32.4	7.76	24.73	—
15 VIII		—	—	—	—	—	—	—	—	8.00	—	—
16 VIII		4.88	—	—	13.0	6.80	—	—	54.3	7.60	—	8.3
17 VIII		—	—	—	—	—	—	—	—	6.40	—	—
20 VIII		4.52	—	—	—	7.20	—	—	81.0	—	—	—
22 VIII		4.60	—	—	—	7.00	—	—	97.2	5.90	—	7.8
23 VIII		—	22.63	1.7	14.4	—	—	—	100.0	5.80	20.94	7.8
24 VIII		4.60	—	—	18.6	—	—	—	107.4	5.60	—	—
26 VIII		4.72	—	—	24.9	7.50	—	—	121.4	5.12	—	—
					36.9	8.60	—	—				

Примечание. 29 VII бутыль обернута черной бумагой.

Примечание. 12 VIII бутыль обернута черной бумагой.

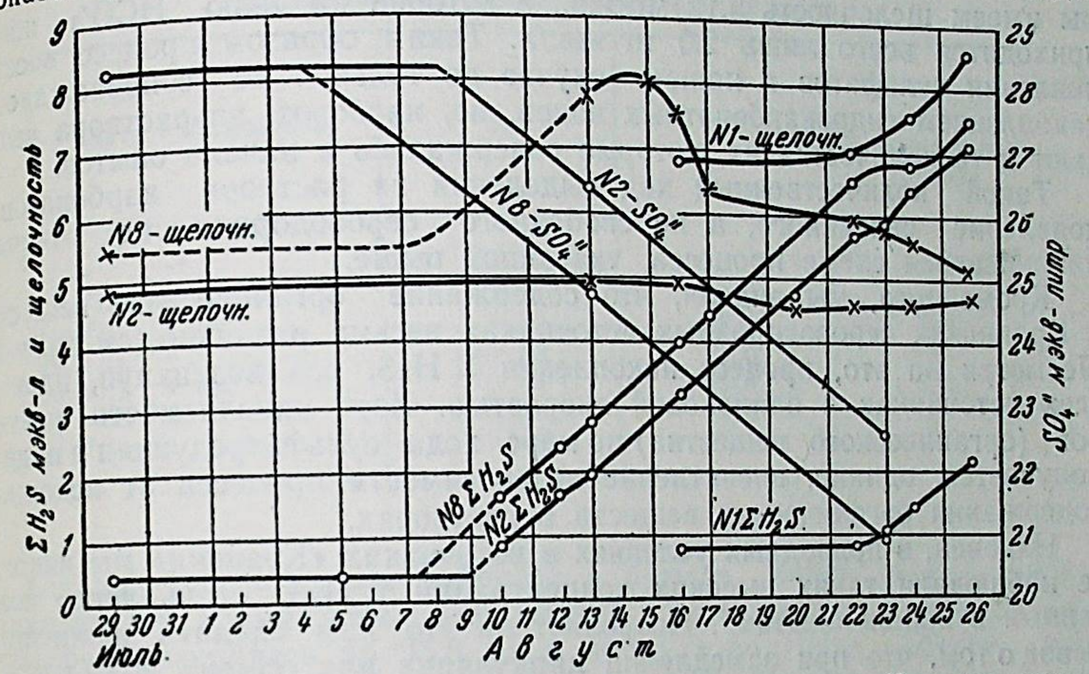
Примечание. 29 VII бутыль обернута черной бумагой.

[1] При взятии пробы в бутыль проскочили пузырьки воздуха, окислившие, вероятно, часть сероводорода.

колебания щелочности незначительны, в источнике № 1 с момента начала накопления Σ H_2S щелочность поднялась с 7.0 до 8.6 мг-экв./л.

По мере хода сульфатредукции РН растворов поднимается до 8.1—8.3 и затем несколько снижается. Окисляемость воды источников № 2 и № 8 падает (органические вещества).

Общий вид растворов при прекращении опытов таков. Проба источника № 1 — раствор прозрачен, имеет темноватую окраску, на дне осадок. Проба источника № 2 — раствор прозрачен и бесцветен, на стенках и на дне белый кристаллический осадок. Проба источника № 8 — раствор прозрачен, на стенках обильный кристаллический осадок карбонатов (вскипает с соляной кислотой), на дне рыхлый светлый осадок.



Фиг. 2. Изменение состава вод сероводородных источников «Краинки» при сульфатредукции под атмосферой водорода.

Растворы слабо пахнут сероводородом, при подкислении появляется очень резкий запах H_2S при РН = 7.8—8.3, около 80—90% его находится в форме ионов HS'.

Количественные изменения в содержании Σ H_2S, SO_4'' и щелочности при наших опытах сульфатредукции в воде источников № 1, № 2 и № 8 представлены для удобства обозрения в табл. 2 и на фиг. 2.

Как видно из табл. 2 и фиг. 2, рост ΣH_2S в растворах идет обратно пропорционально уменьшению содержания сульфатов. Для источника № 8, однако, прямая для сероводорода несколько опущена, и ход восстановления сульфатов начинается значительно раньше, чем ход накопления сероводорода. Это расхождение отвечает потере примерно 14 мг H_2S на литр в начале опыта.

Биохимическое восстановление сульфатов в присутствии органического вещества отвечает такой схеме процесса:

$$SO_4'' + 2C + 2H_2O \rightarrow H_2S + 2HCO_3'. \quad (1)$$

При этом щелочность раствора увеличивается пропорционально накоплению сероводорода. В наших опытах, действительно, щелочность раствора вначале возрастает (источники № 8 и № 1), а затем довольно резко падает (источник № 8), очевидно в связи с выпадением $CaCO_3$, обильно кристаллизующегося, как упомянуто, на стенках бутылей.

В естественных водах «Краинки» при бурении в пойменных илистых отложениях мы нередко встречали очень высокую щелочность, до 16—20 мг-экв., причем потери кальция (в виде $CaCO_3$) в этих водах не наблюдалось. В наших опытах выпадение $CaCO_3$ лишь частично могло бы возникать в связи с уходом из раствора CO_2 в атмосферу водорода.

Исходя, однако, из схемы процесса [1] и количества восстановленных ионов SO_4'', экстраполируя данные анализов, легко сосчитать, что содержание гидрокарбонатов в воде источника № 8 должно было бы повыситься к концу наблюдений на 8.5 мг-экв./л., а полное содержание их достигнуть значения 5.3 + 8.5 = 13.8 мг-экв./л. На самом деле мы имеем щелочность 5.12 мг-экв., в которой на долю HCO'_3 ионов приходится всего лишь 2.0 мг-экв./л. Таким образом процесс восстановления сульфатов в нашем случае не только не сопровождается накоплением гидрокарбонатных ионов, но, наоборот, из раствора выпадают и те количества их, которые содержались в начале опытов.

Такой количественный ход выделения из раствора карбонатов и появление связанного, а не свободного сероводорода не отвечает ожидавшейся схеме процесса, указанной выше.

Кроме того, мы видели, что содержание органического вещества в Краинских сероводородных источниках весьма различно (см. табл. 2). Несмотря на это, процесс накопления ΣH_2S, раз возникнув, идет во всех источниках с одинаковой скоростью. Хотя окисляемость растворов (органического вещества) по мере хода сульфатредукции и падает, получается, однако, впечатление независимости процесса от исходного содержания органических веществ в растворах.

Наконец, в природных условиях в источниках «Краинки» мы никогда не наблюдали таких высоких концентраций ΣH_2S, столь легко полученных в наших опытах [1]. Позволяет ли это нам сделать важнейший вывод о том, что при замедлении циркуляции или обмена воды в источниках могут быть получены в ней высокие концентрации сероводорода? Этого вывода сделать нельзя, не показав, что то новое, что мы вносим в наш опыт по сравнению с природным процессом, не влияет на ход сульфатредукции. Этим новым в наших опытах является присутствие над водою атмосферы водорода.

По данным А. Д. Пельша [5], применившего водород для сохранения анаэробных условий среды при изучении сульфатредукции, молекулярный водород не используется десульфатирующими микробами. Все вышеуказанное побудило нас вновь ставить вопрос о возможности участия в сульфатредукции водорода, приводящего к накоплению в растворе щелочных продуктов по следующей схеме:

$$SO_4'' + 4H_2 = S'' + 4H_2O \qquad (1)$$

$$S'' + H_2O = HS' + OH' \qquad (2)$$

В качестве продуктов образуются сульфиды и вода; гидролиз сульфидов приводит к повышению PH раствора и выпадению карбонатов, что хорошо объясняет наблюдавшиеся нами явления.

Если процесс действительно идет по указанной схеме, то должно наблюдаться одновременно идущее поглощение раствором газообразного водорода.

[1] Исключением является единичное наблюдение А. М. Малахова, показавшее появление в источнике № 8 в июне 1939 г. 119 мг ΣH_2S в литре, быстро снизившееся

В связи с этими соображениями, нами поставлено было в процессе опыта наблюдение за изменениями давления газа в бутылях.

Присоединив манометр с помощью отрезка каучуковой трубки к бутыли с водой источника № 8, мы могли наблюдать непрерывное падение в ней давления водорода (в этот промежуток времени проб воды для анализа из бутыли не отбиралось).

Объем воды в бутыли 1895 мл, объем газа 1125 мл.

Результаты наблюдений над изменением давления в бутыли сведены в табл. 3.

Таблица 3

Изменение давления водорода в бутыли

Дата наблюдения	Δp[1]	$t°$	Атмосферное давление (мм ртутного столба)
17 VIII, 12 час.	0	25.0	747
18 VIII, 11 »	— 30	23.5	742
19 VIII, 8.5 час.	— 59	21.0	740
20 VIII, 8 час.	— 89	19.0	739
21 VIII, 8 »	—124	19.0	745
22 VIII, 7 »	—149	20.0	746

Ход падения давления водорода в бутыли носит прямолинейный характер. За время этих наблюдений содержание сероводорода в растворе увеличилось на 35.8 мг в литре, а во всем объеме воды на 67.8 мг в литре. Зная изменение давления газа и объем его, можно сосчитать количество поглощенного водорода, приведенное к нормальным условиям = 172.5 мл, или 15.5 мг.

Согласно приведенной выше схеме сульфатредукции [2], 8 мг водорода, ушедших в реакцию, отвечают образованию 34 мг ΣH_2S; следовательно, найденное нами количество поглощенного водорода 15.5 мг отвечает образованию 66.6 мг ΣH_2S; фактический же прирост ΣH_2S, как выше указано, равен 67.8 мг.

Приведем теперь результаты, полученные нами при наблюдениях над изменением состава воды источника № 8 в отсутствие атмосферы водорода.

Для этой цели 27 VIII нами собраны были пробы воды в бутылки; в пробки, закрывавшие бутыли, были вставлены короткие кусочки стеклянных трубок, а на последних укреплены отрезки каучуковых трубок длиной в 20—25 см. При взятии проб водой заполнялись также и каучуковые трубки, закрытые затем на концах стеклянными палочками. Таким образом пробы взяты без пузырьков воздуха; бутыли с водой сохранялись в темноте.

В табл. 4 приведены результаты анализов воды из этих проб, выполненные в разные сроки С. С. Крапивиной.

Данные табл. 4 показывают очень медленный рост ΣH_2S в воде, не сопровождающийся потерей SO_4'' или увеличением щелочности

[1] Разность уровней ртути в манометрической трубке.

Таблица 4

Анализ проб воды источника № 8 (в мг и мг-экв./л)

Дата анализа	pH	Окисл., в мг, кислорода	NH_4^+ мг/л	ΣH_2S мг/л	Cl'		SO_4''		HCO_3' (щелочн.)		Ca^{++}		Mg^{++}	
					мг	мг-экв.	мг	мг-экв.	мг	мг-экв.	мг	мг-экв.	мг	мг-экв.
13 IX	7.2	11.2	5.0	2.8	8.9	0.25	1286	26.81	330	5.42	545	27.25	60	4.9
26 IX	7.3	12.4	2.0	4.1	8.9	0.25	1288	26.83	324	5.3	542	27.10	61	5.0
9 X	7.0	11.8	2.0	7.1	10.7	0.30	1293	29.94	324	5.31	546	27.30	62	5.1
27 XII	7.0	—	2.0	7.5	8.9	0.25	1300	27.06	324	5.31	—	—	—	—

(гнилостный процесс?); так, почти за $3^1/_2$ месяца в воде появилось только 4.7 мг ΣH_2S в литре, в то время как в опытах с водородом 7.8 мг ΣH_2S накапливалось за одни сутки.

Сопоставление результатов наших исследований приводит к выводу о том, что накопление гидросульфидных ионов в наших опытах шло при участии водорода и очень точно отвечает указанной выше схеме [2].

Исходя из этой схемы, мы можем теперь понять и особенности в ходе кривых изменения щелочности во время наших опытов, представленных на фиг. 2.

В результате процесса [2] в растворе одновременно появляются ионы HS' и OH', что сопровождается вторичными реакциями с углекислотой и бикарбонатами, содержавшимися в исходной воде, которые можно представить таким образом:

I. $CO_2+HS'+OH'=HS'+HCO_3'$ . . . . . [+2 мг-экв. щелочности]

II. $HCO'_3+HS'+OH'=HS'+CO_3''+H_2O$. [+2 мг-экв. щелочности]

С определенного момента накопления в растворе ионов CO_3'' возникает процесс осаждения карбонатов:

$$\text{III. } Ca^{++}+CO_3''=CaCO_3\downarrow$$

При реакциях I и II щелочность раствора возрастает пропорционально увеличению ΣH_2S (в экв.); если реакция II сопровождается осаждением карбонатов [III], щелочность раствора, несмотря на продолжающееся образование сульфидов, остается без изменений; происходит лишь замена ионов HCO'_3 ионами HS'; при этом на каждые экв. накапливающейся ΣH_2S из раствора исчезает 1 экв. HCO_3'-ионов.

Сопоставляя кривые изменения щелочности в источниках № 1 и № (фиг. 2), мы видим, что вначале кривые эти действительно поднимаются параллельно нарастанию ΣH_2S. В источнике № 1 процесс за время наблюдения не дошел до кристаллизации $CaCO_3$; наоборот, в источнике № 8, начиная с 15 VIII, наступает сразу обильная кристаллизация карбонатов.

Не имея данных полного анализа, мы не можем вычислить насыщенность воды карбонатом кальция, однако уже самый ход кривой (крутое падение ее) совершенно убедительно указывает на то, что

15 VIII раствор оказался сильно пересыщенным карбонатом кальция, и в дальнейшем сразу наступает обильная кристаллизация его из раствора. Кривая постепенно выполаживается, приближаясь к кривой щелочности источника № 2, что характеризует собой ровный ход осаждения $CaCO_3$ (II и III) по мере восстановления сульфатов.

К сожалению, мы не имели пока возможности поставить соответствующее микробиологическое исследование наблюденного нами явления и располагаем лишь следующими неполными данными, полученными микробиологом Л. П. Харитоновой.

31 VII из источника № 8 был сделан посев 1 мл воды на мясопептонном агаре в чашках Петри. Через 48 часов наблюдался сплошной рост, исключивший возможность подсчета колоний; на чашках преобладали два типа колоний: белые, дисковидные, непрозрачные и прозрачные, голубоватые.

17 VIII из опытной бутыли с водой источника № 8, содержащей 76 мг/л ΣH_2S, были вновь сделаны посевы по 1 мл на мясопептонном агаре; через 48 часов на чашках подсчитано было 835 колоний, в которых главная масса состоит из прозрачных голубоватых колоний; под микроскопом — тонкая палочка. Таким образом число микроорганизмов в воде (вырастающих в указанных условиях) резко сократилось; растворы в разгаре процесса остались вполне прозрачными.

Первое указание на возможность биохимического восстановления сульфатов в присутствии молекулярного водорода было сделано Никлевским в 1914 г. [6].

В 1931 г. опубликовано исследование М. Стефенсона и Стикленда, количественно изучавших этот процесс [7]. Работа эта представляет очень большой интерес.

Авторами обнаружен энзим, выделяющийся рядом микроорганизмов, активирующий молекулярный водород и названный авторами гидрогеназой.

В присутствии гидрогеназы осуществляется восстановление водородом кислорода, метиленблау, нитратов. Гидрогеназа обнаружена и в сульфатредуцирующих микроорганизмах, выделенных из р. Оуз, в связи с чем эти организмы способны восстанавливать сульфаты, согласно уравнению:

$$H_2SO_4+4H_2=H_2S+4H_2O$$

(на самом деле авторы работали с растворами сернокислых солей, и реакцию правильнее писать, как указано выше).

Так же восстанавливаются до сульфидов сульфиты и тиосульфаты.

Следует думать, что мы в своих наблюдениях встретились с тем же энзиматическим процессом, идущим, однако, не в искусственно приготовленных взвесях, обогащенных микроорганизмами и продуктами их жизнедеятельности, как в опытах указанных авторов, а протекающим в природной воде, помещенной в атмосферу водорода.

Целый ряд вопросов возникает перед нами в связи с полученными результатами.

Согласно данным Стефенсона и Стикленда, восстановление сульфатов водородом вызывается действием энзима, названного ими гидрогеназой. Не исключается возможность перехода гидрогеназы из микробных тел в раствор. И вот тут особенно остро чувствуется громадный пробел в наших знаниях о составе органических веществ в минеральных

водах. В самом деле, мы изучаем в этих водах содержание неорганических ионов и молекул и почти ничего не знаем об активных органических соединениях ни в водах, ни в лечебных грязях, являющихся продуктами биосферы. Вероятно, здесь должны применяться не только химические, но и биологические методы, подобно тому, как было сделано, например, в отношении гормоноподобных веществ лечебных грязей.

Сейчас несомненно, что в таких тесно связанных с проявлениями жизни водах, какими являются сероводородные источники, при их бальнеологической оценке мы должны считаться с тем, что сероводород появляется возможно не один, а с целым комплексом соединений—спутников, среди которых могут находиться биологически активные органические вещества.

Этого следует особенно ожидать для «молодых» сероводородных источников, подобных Краинским, в которых появление сероводорода является результатом современных микробиологических процессов; иначе может обстоять дело со «старыми» водами, подобными Мацестинским, в которых сероводород является продуктом давно закончившихся процессов.

Исключительное значение в процессах образования сероводородных вод придается в настоящее время биохимической сульфатредукции в присутствии органических веществ. Между тем приведенные выше материалы позволяют нам ставить вопрос и о возможности существования иной схемы процесса, приводящего к образованию щелочной гидросульфидного типа воды. Вероятность осуществления этого процесса в природных условиях связана с возможностью появления в природных газах водорода.

Собственно газовые струи, содержащие водород, представляют собою очень редкое явление, но нам известен целый ряд процессов, сопровождающихся появлением водорода; водород находят среди адсорбированных газов в горных породах, значительные количества его выбрасываются с некоторыми вулканическими газами, он образуется при разложении воды под влиянием радиоактивных излучений [8]. Но особенный интерес представляет для нас широко распространенное в природе явление образования водорода при микробиологических процессах разложения клетчатки.

Дело в том, что первостепенное значение в ходе образования сероводородных илов (черных лечебных грязей), как известно, придается тому же процессу биохимической сульфатредукции в присутствии органических веществ.

Обычно процесс этот протекает в ряду других, среди которых несомненно идет и разрушение клетчатки, приводящее к образованию метана и водорода. Именно из илов (речных) выделяли Стефенсон и Стикленд микроорганизмы, образующие гидрогеназу. Совершенно естественно поэтому предположить, что при наличии водорода и органических веществ сульфатредукция в илах может итти как по схеме (1), так и по схеме (2) с преобладанием того или иного процесса. Это обстоятельство представляется нам чрезвычайно важным как в отношении понимания образования черных илов (лечебных грязей), так и ряда минеральных отложений в них и даже природных минеральных вод, в некоторых случаях являющихся, повидимому, дериватами иловых вод, отделяющихся из формирующихся из морских осадков (при уплотнении их) горных пород.

В самом деле, осаждение таких соединений, как FeS или $CaCO_3$, нередко образующего в минерализованных илах прослойки, а в торфах целые пласты травертина (Краинка), особенно интенсивно должно итти в щелочной или слабощелочной среде. Как мы видели, второй процесс с участием водорода как раз и отличается от первого тем, что приводит к накоплению в растворе щелочных продуктов и интенсивному осаждению карбонатов ($CaCO_3$) и сульфидов железа.

Особенно интересна возможность влияния этого процесса на образование доломитовых осадков, протекающего, согласно наблюдениям Н. М. Страхова, при значительном повышении PH раствора [9].

То или иное значение PH раствора должно существенно влиять и на микробное население илов.

Таким образом ход целого ряда биогеохимических процессов, протекающих в илах, может получить то или иное направление в зависимости от соотношения обоих типов процесса сульфатредукции.

ВЫВОДЫ

1. В воде Краинских сероводородных источников, несмотря на присутствие в растворе сульфатов, органических веществ и сульфатредуцирующих микроорганизмов, при хранении ее в анаэробных условиях наступает лишь чрезвычайно медленное накопление $\Sigma H_2S = 4.7$ мг/л за $3^1/_2$ месяца.

2. В той же воде, помещенной в атмосфере водорода, в темноте, наблюдается интенсивная сульфатредукция, количественно идущая по схеме:

$$SO''_4 + 4H_2 = S'' + 4H_2O;$$
$$S'' + H_2O = HS' + OH'.$$

3. Процесс аналогичен описанному Стефенсоном и Стиклендом (1931), вызываемому бактериальным энзимом гидрогеназой.

4. Характерной чертой описанного процесса, отличающей его от сульфатредукции в присутствии органических веществ, является образование вместо H_2S и ионов HCO_3' щелочных продуктов гидролиза сульфидов: $HS' + OH'$; в результате наступает осаждение содержавшихся в растворе углекислых солей.

5. Полученные экспериментальные, а также литературные данные позволяют ставить для опытной проверки вопрос о существовании в природных условиях процесса сульфатредукции, идущего с поглощением водорода, образующегося при разложении клетчатки, и роли этого процесса в образовании карбонатных осадков, сульфидов и щелочных растворов в илах.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Бунеев. Химический состав и процессы метаморфизации Краинских минеральных вод. Тр. Центр. бальнеол. инст. на Кавказских минеральных водах, т. X, 1931.
2. А. Д. Пельш. О восстановлении сульфатов в воде Каспийского моря. Сб. работ по гидрохимии Карабугазского залива Каспийского моря. Акад. Наук СССР, вып. V, 1936.
3. Niklewski. Zent. Bakt., II, 40, 430, 1914.
4. M. Stephenson and L. Stiekland. Hydrogenase. A bacterial enzime activating molecular Hydrogene. Biochem. Journ., vol. XXV, № 1, 1931.
5. G. Hevesy a. F. Paneth. A manual of Radioacivity, London, 1938.
6. Н. М. Страхов. Деломитовые осадки оз. Балхаш и их значение для познания процесса доломитообразования. Сов. геол., 1945, № 4.

Н. Н. СЛАВЯНОВ

ЖЕЛЕЗНОВОДСКИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ И ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСОВ МИНЕРАЛЬНОЙ ВОДЫ

Железноводск по отличным качествам минеральных источников, по красоте ландшафта и климату является одним из лучших русских курортов. Необходимость его расширения чувствовалась уже до войны. Поэтому надо своевременно наметить пути, по которым должны итти работы по увеличению его гидрогеологических ресурсов.

Для правильной постановки таких работ необходимо основываться на знании геологического строения, тектоники и гидрогеологических условий железноводского месторождения. Геологическое строение его изучалось с 1908 по 1914 гг. блестящим русским геологом А. П. Герасимовым [2, 3, 4], а в 1940—1941 гг. В. Н. Павлиновым, внесшим иные толкования возраста одних свит и более дробное разделение других.

Разведочные работы в 1912—1917 гг. производились мною [1, 11–22], а небольшие дополнительные работы в последние годы — Н. В. Покровским, Ф. И. Хаджиновым, Д. В. Николаенко.

Проведенные мною разведочные работы позволили сделать некоторые геологические и гидрогеологические наблюдения, существенные для постановки работ, — они описываются в этой статье вместе с результатами других работ.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОВОДСКА

Район Железноводска сложен осадочными горными породами мелового и третичного возраста, приподнятыми и разорванными трахилипаритовым лакколитом Железной горы. Это нарушение вызвало куполовидное поднятие осадочных пород с периклинальным падением их вокруг трахилипаритовой вершины во все стороны от горы и дугообразными разломами-взбросами, играющими крупную роль в выходе на поверхность железноводских терм. В последующее время осадочные породы на верхушке горы были смыты денудационными процессами. Более древние осадочные породы обнажаются высоко на склонах, более молодые выходят на поверхность все ниже и ниже по склонам.

1. Сенонские известняки

Самыми древними осадочными горными породами, обнажающимися на Железной горе и вскрытыми буровыми, являются глинистые известняки. Они обнажаются высоко на северо-западном склоне Железной горы по зигзагообразной тропинке террен — кура. Это небольшой

изолированный клочок, зажатый между трахилипаритами и палеоценовыми темными глинистыми сланцами. Известняки глинистые, светлосерого цвета, с многочисленными светлыми желтовато-бурыми и ржаво-бурыми пятнами, полосами и разводами. Они плотные, тонкослоистые, с пластами толщиной от 1 до 5 см, а иногда и больше. Падение слоев на СЗ 310—315°, угол 20—29°. Они сильно смяты, перебиты различными трещинами отдельности. Наиболее распространенное простирание на ССВ 5—28° с крутым падением то на ЗСЗ, то на ВЮВ под углом от 65 до 80°. Кроме этих господствующих трещин часты трещины с падением на ССЗ 330—357° с крутыми углами падения 77—80°. Значительно реже встречаются трещины с простиранием на ЗСЗ 282—286°, падающие то на ЮЮЗ, то на ССВ под углами 77—83°.

Благодаря очень частой трещиноватости эти известняки по виду похожи на известковую брекчию, но это только внешнее сходство; перемятость и перебитость известняков объясняются сильными дислокационными напряжениями, испытанными ими при поднятии лакколита. Весь этот небольшой клочок известняков непосредственно прилегает к трахилипаритам. В. Н. Павлинов рисует в этом месте несколько тектонических разрывов.

В буровых скважинах моей разведки эти известняки тоже были встречены в буровой Славяновского источника под темными, почти черными глинистыми сланцами свиты Горячего ключа. В эти же известняки врезались буровые на восточном склоне горы выше Горизонтальной аллеи (некоторые непосредственно под делювием, другие под сланцами Горячего ключа). Буровая Владимирского источника на северном склоне горы Железной тоже прошла по этим известнякам. Эти известняки характеризуются массивным строением с редкими обособленными трещинами, не соединенными между собой, что видно по гидростатическим уровням вод, различным и индивидуальным для каждой трещины, в противоположность водам в вышележащих породах.

С глубиной, при очень медленном повышении температуры и стабильном химическом составе, дебиты и напоры резко увеличиваются.

Палеонтологическая характеристика этих известняков очень плохая. А. П. Герасимову удалось найти только несколько обломков иноцерамов и морских ежей плохой сохранности, имеющих, по его словам, «явно верхне-сенонский облик». Во второй же Точильной балке в подобных же условиях на склоне горы Бештау А. П. Герасимов нашел: *Desmoceras* sp., *Scaphites constructus* Sow. var. *vulgaris* Now., *Pachydiscus colligatus* Rinkh., *Inoceramus tegulatus* Hag., *Pteria* sp. ind., *Echinoris* sp., *Micraster* sp., определенные В. П. Ренгартеном и отнесенные им к маастрихту. На Волчьей балке и по правому притоку первой Точильной балки, на горе Бештау найдены неясные рыбные чешуйки, мелкие фораминиферы и почти неопределимые: *Lytoceras* sp., *Desmoceras* sp., *Ostrea* sp., *Rhynchonella* sp., *Micraster* sp. В. Н. Павлинов в обнажении на Железной горе нашел обломок морского ежа.

Мощность этих известняков на Железной горе неизвестна, так как ни буровая Славяновского, ни буровая Владимирского источника не прошли их насквозь. В Славяновском источнике эти известняки были встречены на глубине 70.96 м (550.96 м над ур. моря) и при глубине 119.71 м не были пройдены. Таким образом, они продолжались в буровой

скважине на протяжении 48.75 м. Угол падения их в этом месте, вероятно, около 30°, следовательно, их прослеженная мощность больше 38 м.

Микроскопическое изучение этих известняков А. П. Герасимовым показало, что они представляют собой затвердевший глинисто-известковистый ил, в котором разбросаны выполненные кальцитом раковины многокамерных фораминифер, мелкие угловатые зернышки известкового шпата и скопления лимонита.

Образцы этих известняков из буровой скважины Славяновского источника с глубины 70.96 до 119.71 м от ур. земли представляют отвердевшие комки буровой муки, среди которых под бинокулярной лупой можно различить глинистые известняки светлосерого цвета. С соляной кислотой они энергично вскипают. Главная масса рассмотренных крупинок — кусочки серого известняка. Кварцевый песок, присутствующий в залегающих выше палеоценовых темных глинистых сланцах (или аргиллитах) Горячего ключа, здесь отсутствует. Слюды и глауконита тоже нет. Встречаются зерна пирита, кальцита, полевого шпата и изредка кварца.

На глубине 76.8 м светлый известняк сменяется на коротком расстоянии более темным. С соляной кислотой он энергично реагирует. Образцы были двух типов: а) в виде известковистых крупинок часто угловатой формы, прозрачных и полупрозрачных зерен кальцита, иногда окрашенных окисью железа; б) в виде комков, содержащих некоторое количество ила. Здесь частицы — более мелкие, пылеватые, часто округлые. Кроме известковистых частиц, имеются зерна пирита, кальцита, полевого шпата и кварца. Эти более темные известняки быстро сменяются снова светлыми, которые выдерживаются до забоя буровой. Состав их такой же, как вышележащих.

Организмами известняки бедны, лишь на глубине 107.5—108 м найдены микроскопические трубочки.

Известняки в мелких буровых скважинах выше Горизонтальной дороги на восточном склоне, а также в буровой Владимирского источника на северной группе имеют такой же внешний вид.

На основании скудных палеонтологических находок, А. П. Герасимов относит эту толщу к верхнему сенону, вероятно к маастрихту, а нижние слои, вскрытые буровыми, вероятно к кампану, тогда как В. Н. Павлинов причисляет эту толщу к палеоцену, к самой нижней его пачке — к ессентукскому горизонту. Он считает, что в обнажении на западной тропинке террен — кура имеются и сенонские и ессентукские мергели.

Вопрос о возрасте этих глинистых известняков не может считаться решенным: может быть, эта известково-глинистая толща в верхних частях относится к ессентукской толще, а в нижних к сенону, а может быть, ессентукской толщи в Железноводске совсем нет.

2. Палеоценовые темные глинистые сланцы или аргиллиты

Сланцы лежат непосредственно на глинистых известняках, как видно по разрезам буровых скважин. Это довольно мощная толща (несколько десятков метров) глинистых сланцев, плохо рассланцованных, так что, может быть, их правильнее называть аргиллитами. В мокром виде образцы из буровых скважин — черные. Эти отложения охватывают со всех сторон трахилипаритовое ядро горы Железной; лишь в

некоторых местах (как указано выше, на зигзаге дорожки на юго-западном склоне, а также на восточном склоне выше Горизонтальной дорожки и на северном склоне выше Владимирского источника) между трахилипаритами и этими глинистыми породами выходят на поверхность (явным образом, или скрытно под делювием) вышеописанные глинистые известняки. На карте В. Н. Павлинова эти темные глинистые сланцы или аргиллиты показаны на юго-западном и восточном склонах под названием «черных аргиллитов». А. П. Герасимов и автор статьи сопоставляют их со «свитой Горячего ключа» К. И. Богдановича в Кубанском районе, хорошо прослеживающейся от курорта Горячего ключа почти до Черного моря и вообще по всей западной части Северного Кавказа и представленной темными глинистыми сланцами с прослойками песчаников. Они относятся в настоящее время к палеоцену (раньше их относили к эоцену) [5].

В Кубанском районе в некоторых местах собственно «песчаники Горячего ключа», находящиеся среди этой «песчано-глинистой толщи Горячего ключа», раздуваются и достигают большой мощности. Это — рыхлые, крупнозернистые кварцевые желтые песчаники, в которых во многих местах в районе г. Горячего ключа имеются древние вырезанные кинжалами искусственные пещеры.

В Железноводске в буровых скважинах таких более или менее крупных песчаных прослойков встречено не было, но в водоносных трещинах в некоторых местах в верхах темных глинистых сланцев обнаружен кварцевый песок. Бурение производилось ударным способом с вымыванием буровой муки с забоя фонтанирующей водой. Поэтому песчаные прослойки легко могли быть пропущены. Но во всяком случае крупных песчаных прослойков не было.

Палеоценовые темные глинистые сланцы или аргиллиты обнажаются во многих местах Железноводска: хорошие обнажения были получены при земляных работах около западного угла Пушкинской галлереи, около западной стены Белой гостиницы на Горизонтальной улице и недалеко от западных городских ворот Железноводска на Горизонтальной улице, а также при раскопках для фундамента санатория Горный воздух и Магнитогорск.

Образцы некоторых разведочных буровых были рассмотрены под бинокулярной лупой. Образцы из буровой Славяновского источника являются твердыми темными глинами (аргиллитами), состоящими преимущественно из глинистых частиц с небольшим лишь количеством мелких зерен песка. Песчаные частицы светлее глинистых. Имеются глауконит, слюда, пирит. Встречаются изредка фораминиферы *Cornuspira, Globigerina,* мелкие трубочки.

Между этими темными глинистыми сланцами (или аргиллитами) и вышележащими светлыми фораминиферовыми стально-серыми аргиллитами и мергелями имеются неясно проявляющиеся при ударном бурении песчаники серого и желтовато-серого цвета. Может быть, эти прослойки можно сопоставить с «песчаником Горячего ключа» К. И. Богдановича в западной части Северного Кавказа [5].

А. П. Герасимов тоже указывает, что на горе Железной среди сплошной толщи аргиллитов в двух местах отмечены прослои темно-серых мелкозернистых тонко- и неправильно-слоистых песчаников с блестками слюды и мелкими ржаво-бурыми пятнами, полосами и разводами.

3. Эоценовые светлые стально-серые фораминиферовые мергели и аргиллиты

На палеоценовых темных глинистых сланцах, относимых к свите Горячего ключа, залегают светлые, стально-серые и голубовато-серые твердые глины (аргиллиты) и мергели, характеризующиеся очень большим количеством многокамерных фораминифер и зернами глауконита. Они в одних случаях вскипают от соляной кислоты, в других не реагируют на нее. Невскипающие образцы относятся к водоносным слоям (с горячей и теплой железноводской минеральной водой), вскипающие же были взяты в безводных участках. Следовательно, железноводские минеральные воды растворяют известковые соли в этих породах. Замечено, что в нижних частях парка, в близких к поверхности частях горных пород, в водах содержание кальция немного больше, чем в горячих источниках, каптированных вблизи водовыводящих тектонических трещин. Мощность этой свиты измеряется десятками метров.

На контакте с нижележащими темными глинистыми сланцами наблюдается характерное переслаивание темных и светлых аргиллитов.

Верхняя часть фораминиферовых аргиллитов, залегающая в буровых скважинах непосредственно под четвертичными отложениями, независимо от того, в каком месте расположена буровая и какова в этой буровой мощность аргиллитов (другими словами, к какому слою фораминиферовых аргиллитов эта пачка относится), имеет не стально-серый, а желтовато-серый цвет.

На это обратил внимание Л. Дрю [26], и в приводимых им геологических профилях он считает эту пачку элювием фораминиферовых аргиллитов (marnes éocènes remaniées).

Я тоже считаю, что это явление поверхностного изменения породы. В некоторых буровых на контакте стально-серых и желтых аргиллитов замечается переслаивание этих пород, причем желтый цвет имеют разрушенные части аргиллитов, не вскипающие с соляной кислотой и часто содержащие в трещинах хотя бы небольшое количество минеральной воды; стально-серый цвет имеют твердые и безводные участки, но это касается только участков, близких к поверхности земли. Глубже аргиллиты, независимо от того, из водоносных ли участков взяты образцы или из неводоносных,— стально-серого цвета.

В. Н. Павлинов объединяет вместе и характерные черные сланцы, которые я описал под названием свиты Горячего ключа, и фораминиферовые стально-серые светлые аргиллиты, и лежащие выше зеленовато-серые темные аргиллиты, и называет всю эту толщу свитой Горячего ключа, относя ее к палеоцену.

А. П. Герасимов отдельно описывает аргиллиты палеоцена (свиту Горячего ключа), представленные в буровых Железноводска темными почти черными глинистыми сланцами, а мергели и аргиллиты эоцена сопоставляет с фораминиферовой толщей эоцена Кубанской области. Мне приходилось работать в Кубанской области; действительно, светлосерые фораминиферовые мергели и аргиллиты Железноводска и по внешнему виду, по цвету, характерному раковистому и скорлуповатому излому с кривыми неправильными поверхностями очень напоминают такие же фораминиферовые мергели и аргиллиты Кубанского края. Поэтому я так же, как А. П. Герасимов, относя темные сланцы к палеоценовой свите Горячего ключа, вышележащие светлые мергели и аргиллиты приравниваю к эоценовым фораминиферовым аргиллитам.

4. Оползневой горизонт (средний эоцен)

Аргиллиты и мергели фораминиферового горизонта в нижних частях парка покрыты зелеными глинистыми мергелями. Они хорошо видны также в низких частях города Железноводска. Почти весь Железноводск выстроен в местах выхода на поверхность этих пород, и крупные санатории курорта часто испытывают неприятные последствия такой застройки.

5. Лиролеписовый горизонт верхнего эоцена

На зеленых глинистых мергелях оползневого горизонта залегают листоватые тонкоплитчатые мергельные сланцы светлокоричневого цвета с чешуйками рыб *Lyrolepis caucasica* Rom. Они лучше всего видны в Камышках (болотистая лужайка в лесу, ниже курортного парка) и в долине ручья Джемуха. А. П. Герасимов, не выделяя эти породы в особый горизонт, говорит, что в верхней части мергельной толщи заключаются рыбные чешуйки *Lyrolepis caucasica* Rom., найденные впервые Н. В. Мушкетовым и определенные и названные Г. Д. Романовским.

Я. В. Лангваген по дороге из Пятигорска на Тамбукан нашел даже целые скелеты этих рыб. Определявший их В. В. Меннер дает следующий список: *Lyrolepis caucasica* Rom., *Odontaspis* aff. *acutissima* Ag., *Notiganus serratissimus* Ag., *Sparnodus* sp.

В. В. Меннер (так же, как А. С. Савченко аналогичные рыбные слои Мангышлака), относит их к киевскому (бартонскому) подъярусу парижского отдела. В. Н. Павлинов относит эти породы тоже к верхнему эоцену. Другого мнения придерживается Б. Ф. Мефферт; он считает эти слои эквивалентными верхнелютетским рыбным мергелям западной Грузии, т. е. относит их к низам эоцена.

6. Майкопские глины (олигоцен — нижней миоцен)

Выше залегает свита слоистых темных глин, рассыпающихся в обнажениях в мелкие листочки, окрашенные по плоскостям в желтый цвет минералом ярозитом. Эта характерная свита получила у кубанских геологов название майкопских глин. В районе Кавказских минеральных вод в начале геологического их исследования эти породы назывались баталинскими глинами.

Н. С. Шатский и В. В. Меннер по литологическим и фаунистическим признакам разделили эту толщу на два отдела — нижний и верхний.

Нижний майкоп (хадумский горизонт), достигающий в некоторых местах Северного Кавказа 700—725 м мощности, характеризуется присутствием значительного количества песчаников, иногда преобладающих над глинистыми породами, иногда уступающих им. В этих глинах и песчаниках на восточном Кавказе найдена характерная нижнеолигоценовая ихтиофауна: *Lepidopus leptospondylus* Heck., *L. brevispondylus* Heck., *Nemopterix crassa* Ag.; новые формы из семейства *Esveidae* и *Cluperdae*, а также *Cardita* sp., *Saxigava* cf. *complanata* Koen.; в более высоких горизонтах *Harengula* cf. *crenata* Heck. и чешуйки *Clupea*.

Верхний майкоп при мощности свыше 600 м (тоже в Черных горах и на восточном Кавказе вообще) отличается преимущественно глинистым составом и содержит рыб: *Aeoliscus (Amphisyle)*

apscheronicus Ledn. и *A. daghestanicus* Ledn. К западу эти мощности уменьшаются, и в районе Железноводска оба отдела майкопа, по мнению А. П. Герасимова, не превышает 400—500 м. Они залегают в самых нижних частях восточного склона Железной горы. А. П. Герасимов подробно описывает эту свиту.

7. Четвертичные отложения Железноводска

А. Аллювиальные отложения. В Железноводске нет рек, поэтому там неизвестны аллювиальные отложения в чистом виде. Ручьи Железная и Джемуха, стекающие на запад и восток от Железноводска, образовали, конечно, аллювиальные отложения, но благодаря специфическим местным условиям они смешаны с делювиальными отложениями, а в некоторых местах с травертинами.

Б. Делювиальные породы. Вследствие постоянного разрушения крутых склонов лакколитов накопился мощный плащ делювиальных отложений на склонах всех лакколитов района Кавказских минеральных вод вообще и на склонах гор Железной, Бештау и Развалки в частности. Эти плащи состоят из неокатанного грубообломочного материала разного размера, состоящего из обломков трахилипаритов и осадочных пород, перемешанных с глинистым материалом. Мощность этих отложений достигает в некоторых местах в Железноводске 10 м, в других — этот слой незначителен.

Делювий Железной горы представляет рыхлую глинисто-песчаную массу серовато-бурого, желтовато-бурого и грязно-бурого цвета, состоящую из неотсортированных обломков трахилипаритов, травертинов, темных палеоценовых глинистых сланцев, светлых фораминиферовых аргиллитов и мергелей и почвы, а на северо-западном склоне еще и обломков сенонских глинистых известняков. Все это перемешано в хаотическую массу из отдельных кусков разного размера, от громадных глыб трахилипарита (одна из которых стоит в виде памятника на одной из площадок парка) до мелких зерен. Делювиальный слой лежит непосредственно под почвой. При отсутствии почвы представлен голыми лысыми осыпями. Подстилающими породами являются различные осадочные породы, в некоторых местах высоко на склонах — трахилипариты, а вблизи старых выходов минеральных источников — травертины. В некоторых местах (в районе восточной группы источников) имеются два чередующихся слоя делювия и травертинов, т. е. во время функционирования минеральных источников, отлагавших травертины, были периоды усиленных осыпей с горы Железной. Особенно хорошо это видно на буровых скважинах, находящихся на прямой линии от отвесных Орлиных скал, вблизи вершины горы с юго-восточной стороны к камню-памятнику и дальше по этому же направлению вниз.

В. Травертины. На всех четырех склонах Железной горы имеются отложения минеральных источников — известковые туфы или травертины. Самые большие травертиновые пятна на Железноводской карте находятся на южном и восточном склонах Железной горы, в районах крупных минеральных источников. Гораздо меньше травертиновые покровы на северном и западном склонах и на южном склоне Пушкинского (б. Архиерейского) холма.

а) *Травертиновый покров на восточном склоне горы Железной* (в курортном парке) начинается немного ниже Горизонтальной аллеи (т. е. выше ныне функционирующих источников Славяновского и Смирновского) и заканчивается у верхней кромки болотистой местности Камышки, т. е. метров на 100 гипсометрически ниже Горизонтальной аллеи.

б) *На южном склоне* травертиновый покров начинается выше источников № 1 и № 2, как раз около башни шахты-луфтлоха штольни источника № 1 и около буровой-луфтлоха над забоем штольни источника № 2, т. е. непосредственно около тектонической сбросовой трещины, по которой поднимаются минеральные воды источников № 1 и № 2. Конец этого травертинового покрова находится в низине между г. Железноводском и районом вокзала, в так называемом нижнем парке.

в) *На западном склоне* горы Железной травертиновый покров начинается очень высоко у бывшего Эмануелевского источника, теперь не функционирующего, вследствие сильного понижения гидростатического уровня (см. ниже), и заканчивается немного ниже Горизонтальной аллеи.

г) *На северном склоне* травертины начинаются не только выше штольни и буровой Владимирского источника, но метров на 10 выше того места, где раньше был естественный выход на поверхность этого источника. Травертины спускаются вниз к Кегамовскому источнику, который является дериватом Владимирского, т. е. утечкой по травертинам минеральной воды. Немного ниже Кегамовского источника этот травертиновый покров заканчивается.

д) *По северо-западному склону* Железной горы, между Владимирским и Эмануелевским источниками по прямой линии расположены еще два холма, сложенные травертинами, что указывает на прежние выходы здесь минеральной воды и позволяет предполагать здесь тектоническую трещину, опоясывающую северо-западный склон Железной горы и выводящую минеральную воду.

е) *На юго-восточном склоне* Пушкинского холма имеется небольшой травертиновый покров. Недалеко от этого места на участке ВЦСПС (б. Рагозина), на углу Парковой и Инженерной улиц, вытекает холодный минеральный источник, никогда не эксплоатировавшийся. Недалеко от него, на Инженерной улице, буровой скважиной выведен Городской минеральный источник.

Кроме этих травертиновых полей, В. Н. Павлинов на своей карте показал еще несколько маленьких полей в других местах.

Травертины представляют углекислый кальций с небольшой примесью гидроокиси железа и гипса и некоторых других солей. В книге А. П. Герасимова опубликован следующий анализ (А. В. Николаева) травертина с южного склона Железной горы (в %):

SiO_2	0.33	K_2O	0.10
Al_2O_3	0.99	Na_2O	0.32
Fe_2O_3	0.85	H_2O	0.98
FeO	0.09	P_2O_5	следы
MnO	следы	SO_3	0.51
CaO	54.46	CO_2	41.09
MgO	0.36		
			100.08

Железноводские травертины имеют разный цвет, от темнокоричневого до светлооранжевого. Чем ближе к выходу минеральных источников, тем темнее, тем тверже и радиоактивнее травертины; чем дальше, тем они мягче и светлее. В нижних частях склонов горы имеются залежи

своеобразного светлооранжевого травертинового мягкого песка, носящего у местных жителей название «пенки». Встречаются изредка травертины густой черной окраски, вследствие гниения растительных остатков и значительного содержания марганцовых солей.

В некоторых местах имеются древние травертины белого цвета, без железистой окраски, напоминающие машукский травертин.

В травертинах много отпечатков листьев и веток современных деревьев. По определению И. В. Палибина, в Железноводских травертинах найдены: *Phragmites communis* Trin. (тростник), *Salix alba* L. (ива), *S. daphnoides* Vill., *Carpinus betulus* L. (граб), *Tagus orientalis Lipsky* (бук), *Quercus pedunculata* Ehrb. (дуб), *Ulmus effusa* W. (вяз), *Rhamnus catharctica* L. (крушина), *Acer campestre* L. (клен), *A. platanoides* L., *Tilia cordata* Milb., *T. platyphyllos* Scop., *Fraxinus excelsior* L. (ясень), стебли злаковых *(Gramineae)*, *Calamagrostis*, *Bromus* и т. д. и раковины современных наземных моллюсков по определению В. А. Линдгольма: *Erusa costulata* Zgl., *Tachea atrolabiata* Kryn., *Xerophyla derbentina* Andr., *Succinea* sp., *Pleonorbis (Gyraulus) glaber* Jeffr. jun.

В травертинах встречаются пустоты большего и меньшего размера, доходящие (судя по буровым скважинам) до ½ м мощности и больше. Это — карстового характера полости, вымытые минеральными водами. Мощность травертинов достигает нескольких метров.

Г. Почвы — глинистые, бурого цвета. Никаких специальных почвенных исследований не делалось.

Д. Так называемый культурный слой в Железноводске очень своеобразен. Это кладбище водопроводных и канализационных труб, строительный мусор, кладбище людей и животных, многолетние, еще недавно функционировавшие, а теперь заброшенные городские свалки в Камышках, вблизи выхода на поверхность минеральных источников Камышки. Своеобразный «культурный» слой был встречен даже в самих минеральных источниках: в старом каптаже Смирновского источника обнаружен шестиметровый постепенно образовавшийся «фильтр» из разноцветного битого стекла от сломанной посуды для питья. В Эмануелевском источнике «культурный слой» более древнего происхождения; там был найден древний темножелтого цвета человеческий скелет.

Е. Черная гидротроилитовая минеральная грязь у выходов минеральных источников. В прошлом столетии в естественном выходе Смирновского источника, носившего тогда название Грязнушки, были отложения такой минеральной грязи. Вокруг Смирновского источника и сейчас под насыпью имеется черная болотистая почва, дренирующая минеральную воду Смирновского источника. В состав ее входит, очевидно, такая же минеральная грязь. В старой пещере Завадовского источника тоже образовался ½-метровый слой черной гидротроилитовой грязи, описанной студентом Московского университета, ныне членом-корреспондентом Академии Наук СССР Х. С. Коштоянцем [8].

8. Изверженные породы

Изверженные породы горы Железной залегают на вершине горы и слагают ее ядро. Они представляют трахилипариты с крупными вкраплениками санидина и с большим количеством кристалликов апатита и циркона. Вторичные продукты — гидроокись железа, рутил, кальцит и кварц. Трахилипариты Железной горы подробно описаны А. П. Герасимовым.

Время поднятия интрузии А. П. Герасимов, на основании изучения залегания осадочных пород, относит к апшеронскому времени.

ТЕКТОНИКА

Железная гора — лакколит. Вершина горы — ядро лакколита, сложено из трахилипаритов. Оно окружено епанчей из наклонно перикластически залегающих осадочных пород сенонского, палеоценового и эоценового возраста. Углы падения пород, крутые около изверженного ядра, делаются все положе и положе вниз по склонам. В прилегающей долине породы залегают почти горизонтально с общим очень слабым падением на ВСВ $< 1/2$—2°. Как изверженные, так и осадочные породы перебиты сетью трещин отдельности. В трахилипаритах и сенонских известняках трещины сравнительно редки и не имеют связи между собой, поэтому гидростатический уровень циркулирующих в них минеральных вод для каждой трещины различен. В палеоценовых же глинистых сланцах и в эоценовых фораминиферовых аргиллитах, разумеется — в близких к поверхности местах, сеть трещин так густа, что минеральные воды представляют общие водные тела с одинаковыми гидростатическими уровнями, но они совершенно различны для обеих этих свит. В сенонских известняках гидростатические уровни достигают от десятка до нескольких десятков метров выше уровня земли и дают фонтаны горячей воды; в палеоценовых глинистых сланцах уровни воды не превышают нескольких метров выше уровня земли, и вода из буровых скважин спокойно изливается; в фораминиферовых же аргиллитах гидростатический уровень ниже поверхности земли, и, чтобы получить самоизлив, приходится или делать земляные выемки, или подходить к устью буровой скважины траншеей.

Подъем лакколита вызвал разрывы и смещения горных пород. Вследствие плохой обнаженности осадочных пород тектоника не изучена. По косвенным признакам во время разведочных работ намечались пять тектонических линий (сбросовых трещин или трещиноватых зон), выводящих восходящую горячую минеральную воду.

1. Сбросовая водовыводящая трещина на южном склоне горы

Штольни источников № 1 и № 2, пробитые Ж. Франсуа для каптажа этих источников, вскрыли в забое штольни источника № 1 контакт трахилипаритов и палеоценовых темных глинистых сланцев. В контакте трахилипариты превратились в мягкие белые глины и имеют каолиновый облик. Контакт — тектонический. Падение плоскости контакта не видна в забое штольни источника № 1 и непосредственно на поверхности земли была вскрыта Д. В. Николаенко в 1940 г., гипсометрически выше штольни источников № 1 и № 2, на площадке солнечных ванн. Сбросовая трещина проходит вблизи башни над шахтой источника № 1, немного южнее ее. Как указано выше, штольня источника № 2 не дошла до нее, но трещина проходит туда и, вероятно, идет дальше на северо-восток. Косвенным доказательством этого служит топографическая карта Железноводска, приложенная к старой работе П. Савенко 1828 г. [10], где очень высоко, восточнее источника № 2, но все еще в пределах южного склона горы, показан источник № 4 Нелюбина [9].

Это, разумеется, другой источник № 4, а не ликвидированный в 1917 г. источник № 4 Л. Дрю, замененный Славяновским. Наличие этого источника в старое время, когда выходы минеральной воды на южной группе еще не были понижены, дает основание предполагать, что тектоническая трещина, выводящая на поверхность земли источники № 1 и № 2, проходит дальше на восток. Эти соображения имеют значение для постановки работ по увеличению дебита минеральной воды на южной группе. Одновременно эти работы были бы радикальным средством борьбы с оползнями на южной группе (санаторий Ударник). При этом, конечно, могут сильно уменьшиться источники Карповский, Хлебородный и источник штольни Ударника, что тоже полезно для курорта, так как эти источники ценности не представляют. Нет никаких данных для того, чтобы высказать предположение, где заканчивается эта водовыводящая тектоническая трещина южного склона Железной горы.

2. Вторая предполагаемая сбросовая трещина

Эта трещина, выводящая минеральную воду, проходит по прямой линии от Эмануелевского источника к Владимирскому. Основания для этого предположения следующие:

а) В месте прежнего выхода Эмануелевского источника находится верхняя граница Эмануелевского травертинового покрова. Немного выше Владимирского источника находится начало Владимирско-Кетамовского травертинового покрова, и там вытекал старый источник «доктора Владимирского», который был заменен эксплоатационной буровой скважиной, получившей название «Владимирского источника». Кроме того, между Эмануелевским источником и Владимирским по прямой линии имеются еще два травертиновых небольших бугра, где, очевидно, в старое время выходила минеральная вода. Эта прямая линия, соединяющая четыре травертиновых покрова, т. е. четыре прежних естественных выхода минеральных источников, конечно, не случайна. На Северном Кавказе во многих местах сбросовые трещины определялись сначала по линиям выходов на поверхность минеральных вод, а потом уже это подтверждалось детальными геологическими исследованиями или раскопками.

б) После вывода на поверхность Владимирского источника понизился гидростатический уровень Эмануелевского источника настолько, что самоизлив этого маленького источника прекратился.

3. Третья предполагаемая трещина

Можно высказать предположение, что между источником № 1 на южном склоне и Эмануелевским источником на западном тоже имеется связь в виде тектонической трещины или зоны трещин. Косвенным доказательством этого является то, что после работ Ж. Франсуа и Л. Дрю по выводу на поверхность источников № 1 и № 2, со значительным понижением уровня их выхода на поверхность и громадным увеличением дебита, Эмануелевский источник сильно уменьшился. Характер понижения его дебита неизвестен, так как гидрометрических наблюдений не производилось или они были потеряны. Наибольшие просачивания минеральной воды вблизи западных ворот Железноводска на Горизонтальной улице, видимо, связаны с этой предполагаемой трещиной.

4. Четвертая сбросовая трещина

На карте В. Н. Павлинова показана трещиноватая зона сбросовых трещин на западном склоне Железной горы на зигзаге террен — кура около обнажения глинистых известняков. Этот сброс проходит так высоко, что не может давать выходов минеральной воды. Поэтому там нет и травертинов.

5. Пятая предполагаемая сбросовая трещина

На восточном склоне Железной горы, выше Горизонтальной аллеи, должна проходить сбросовая трещина или зона трещин, по которой поднимаются горячие минеральные воды и, встречая недалеко от поверхности земли трещиноватые осадочные породы (глинистые известняки и третичные глинистые сланцы, аргиллиты и мергели), насыщают их и выходят в разных местах склона на поверхность земли. Эта трещина сечет породы выше Горизонтальной аллеи, так как буровые скважины, проведенные на этой аллее из палеоценовых глинистых сланцев, дали горячую минеральную воду даже с самоизливом. Буровые же на небольшом расстоянии выше Горизонтальной аллеи или безводны, или давали совершенно ничтожное количество холодной пресной воды. Эта сбросовая трещина пока раскопками не обнаружена. В этом месте значительный делювиальный покров затрудняет такие разведочные работы.

Вероятно, это далеко не все сбросовые трещины, рассекающие Железную гору. Только детальная геологическая съемка с разведочными канавами и шурфами, вроде работы, произведенной на Машуке, даст возможность выяснить полностью тектонику Железной горы.

Итак, пока намечаются, главным образом по косвенным признакам, прямолинейные или дуговые водовыводящие сбросовые трещины, окаймляющие по окружности Железную гору очень сходно с тем, как это выяснено геологической съемкой горы Машука. Обособлены ли эти сбросовые трещины, или они окружают всю Железную гору, не выяснено. Поразительное сходство химического состава всех минеральных источников Железноводска (кроме выходящих с южного склона Пушкинского холма и Городского источника на б. участке Рогозина) и более или менее близкая, а в некоторых случаях отдаленная связь их между собой, обнаруженная наблюдениями и опытными работами во время разведки, заставляют предполагать следующее:

а) сбросовые трещины, выводящие коренные Железноводские источники, связаны между собой,

б) тектоника сложнее, чем это намечается сейчас на основании косвенных показаний.

УСЛОВИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

1. Грунтовые воды. Дождевые воды, выпадающие на Железной горе, стекают вниз по ее склонам и в благоприятных местах просачиваются в поверхностные отложения (делювий). Образующиеся таким образом грунтовые воды являются слабыми грунтовыми потоками. Подошвой этого водоносного горизонта являются описанные выше третичные отложения, все глинистые породы. Поток грунтовых вод в делювиальных отложениях и в травертинах дает небольшие пресные источники.

Например, Пресный источник на Горизонтальной аллее выше Смирновского источника, вытекавший из делювия, и Натовский источник у Михайловской галереи, вытекавший из травертина (ныне не существующие). Ниже по восточному склону Железной горы, между парком и Камышками, вытекают в балочках еще несколько пресных источников. Имеются они во многих местах и на других склонах горы. Эти пресные воды эксплоатируются мелкими колодцами жителями Железноводской станицы, живописно раскинувшейся под горами Железной и Медовой. Специальному изучению эти воды не подвергались, а между тем они очень интересны своим пестрым составом, обусловленным выщелачиванием солей из глинистых толщ палеогена. Некоторые из них имеют запах сероводорода.

Стекая в делювиальных отложениях вниз по склону горы и просачиваясь в трещины эоценовых фораминиферовых аргиллитов и мергелей, эти пресные воды разбавляют струйки минеральных дериватных вод. На это ясно указывают химические анализы вод, встреченных при бурении. Особенно большое проникновение пресных вод в осадочные породы палеогена происходит по дуговым тектоническим трещинам, окаймляющим Железную гору со всех сторон и дающим выходы горячей минеральной воды на поверхность и в трещины осадочных пород вблизи поверхности.

Такая роль этих сбросовых трещин подтверждается наблюдениями за режимом минеральных источников после ливней. Наблюдались увеличения дебита источника № 1 иногда в 2 и даже в 3 раза с понижением температуры на несколько градусов.

2. Минеральные воды. Формирование химического состава железноводских терм вплотную и детально никем не изучалось. Эти воды поднимаются с большой скоростью. На это указывают их высокая температура и незначительное ее понижение по мере движения воды вверх по тектоническим трещинам Железной горы. Глубину, с которой поднимаются эти воды, можно приблизительно подсчитать по средней годовой температуре пояса постоянных температур, по глубине этого пояса, по геотермическому градиенту и температуре терм. Формирование химического состава происходит, разумеется, постепенно, как в области питания при нисходящем движении воды по трещинам в горных породах, так и при восходящем движении в водовыводящих трещинах. Так образуется и постепенно меняется солевой состав этих вод. В формировании состава участвуют, конечно, не только осадочные породы, но и изверженные, которые обогащают воду углекислотой и некоторыми другими составными частями. Высокая температура терм объясняется, вероятно, не только глубиной циркуляции этих вод, но и нагревом еще не вполне остывшими на глубине интрузивными породами. На сложность и постепенность формирования состава железноводских минеральных вод указывают многие наблюдения над составом железноводских минеральных источников, являющихся выходами на поверхности отдельных струй одного и того же потока минеральных вод (растворение солей из изверженных и осадочных горных пород, обогащение известью от выщелачивания травертинов, различия состава от примеси пресных вод).

Если можно наблюдать различия в составе минеральных вод непосредственно на местах их выхода на поверхность, то насколько сложнее и разнообразнее должны быть эти изменения по мере движения воды в водоносных пластах и по мере подъема в водоносных трещинах. Лабораторные изучения возможных изменений состава минеральных вод

района Кавказских минеральных вод вообще и Железноводска в частности опытами с вытяжками воды из образцов горных пород и кернов буровых скважин, а также наблюдения взаимодействия вод и горных пород (А. Н. Бунеев, А. А. Шинкаренко) еще только начаты.

Минеральные воды поднимаются со значительной глубины по описанным дуговым тектоническим трещинам. Некоторые источники (№ 1, Эмануелевский, Владимирский) были каптированы непосредственно из этих трещин или в близком расстоянии от них в сети трещин отдельности, другие же, в том числе даже такие горячие, как Славяновский, Смирновский, Семашко, Нелюбинский горячий, захвачены уже при нисходящем движении потока минеральной воды в сети трещин в палеогеновых и сенонских отложениях. Чем источники выше по склону, тем они теплее и, в большинстве случаев, обильнее; чем они ниже, тем холоднее и дебит их меньше.

Но это правило действительно только в пределах одного и того же склона горы. На разных склонах температуры источников, выходящих на одной и той же высоте, различные. Самые горячие источники — на восточной группе, самые холодные — на западной и северной. Различие температур зависит от большей или меньшей близости с тектоническими водовыводящими трещинами, от сечения трещин, длины пути воды и скорости ее движения.

Сильная трещиноватость горных пород и крутые склоны Железной горы создают своеобразные гидрогеологические условия, именно — стремление воды найти себе выходы на поверхность ниже по склону. Поэтому выходы минеральных источников постепенно гипсометрически понижались и будут понижаться. На это указывает высокое положение древних травертинов, это подтверждают и старые топографические карты.

Разведочные работы 1912—1916 гг. ясно указывали на теснейшую связь источников и буровых восточной группы между собой. Каждая полученная самоистекающая вода из новой буровой скважины влияет на старые источники, понижая их пьезометрический уровень и уменьшая дебит, а иногда и температуру. В некоторых местах это влияние очень сильное и почти мгновенное, в других случаях это влияние сказывается через продолжительное время. То же самое наблюдалось и на других склонах Железной горы.

3. Минеральные источники. Все старые железноводские минеральные источники и воды, встреченные буровыми скважинами,— одного и того же типа — углекислые щелочно-глауберово-известковые термы, содержащие железо. Различия в химическом составе очень незначительны.

На курорте имеется около двадцати минеральных источников, из которых четырнадцать источников эксплоатируются в той или иной степени, а шесть не эксплоатируются. Имеется пять групп минеральных источников — восточная, южная, северная, юго-восточная, Камышки. Химический состав их очень близок, но источники резко различаются по температуре (и в зависимости от нее — по вкусу). Характеристика источников дана в табл. 1, 2, 3.

4. Каптаж источников. Каптаж минеральных источников устраивается всегда с расчетом удобной их эксплоатации. В Железноводске было всегда стремление получать воду с самоизливом в бюветах и с самотеком в ванное здание (без применения насосов). Минеральные

Таблица 1

Характеристика Железноводских минеральных источников

Источники	T °C	Дебит, л/сутки	Применение	Каптирован в породах
I. Восточная группа				
1. Славяновский ист.	55	300000	Питьевой, ванны, разлив	Сенонские известняки.
2. Смирновский № 1	38	28000	Питьевой, разлив	Свита Горячего ключа
3. Смирновский № 2	45	12300	То же	То же
4. Источник Семашко (Смирновский № 3)	50	135000	Питьевой	» »
5. Источник Франсуа (б. Мариинский)	32	6600	»	Фораминиферовая
6. Нелюбинский горячий (б. Муравьевский горячий)	40	39200	Ванны	»
7. Нелюбинский холодный (б. Муравьевский холодный)	17.2	6600	»	»
8. Незлобинский (б. Михайловский)	18.5	12300	Питьевой, ванны, разлив	»
9. Источник Гааза (б. Барятинский)	20	17200	Ванны	»
10. Завадовский	15.6	28800	Питьевой	»
II. Южная группа				
11. Источник № 1	44	480000	Питьевой, ванны	Трахилипариты
12. Источник № 2	33	14400	Нет	Свита Горячего ключа
13. Карповский	14.8.	6000	»	Оползневая св.
14. Источник Хлебороб	—	—	Хозяйств.	»
III. Северная группа				
15. Владимирский	26.5	51000	Питьевой	Сенонский известняк
16. Кегамовский	18	6000	»	Травертин
IV. Юго-восточная группа				
17. Городской	15.7	1300	Питьевой	Фораминиферовый
18. Источник ВЦСПС	—	—	Нет	Делювий
V. Группа Камышки				
19. Камышки № 1	12	240000	Нет	Травертин
20. Камышки № 2	9	48000	»	»

Таблица 2

Состав минеральных источников восточной группы Железноводска

	Славяновский	Смирновский № 1	Смирновский № 2	Ист. Семашко	Нелюбинский горячий	Ист. Франсуа	Нелюбинский холодный	Незлобинский	Гаазовский	Завадовский
Катионы										
$Na^{\cdot}$	0.6370	0.5517	0.5967	0.6492	0.5545	0.5554	0.5229	0.5002	0.5921	0.4749
$K^{\cdot}$	0.0364	0.0337	0.0367	0.0370	0.0396	0.0344	0.0350	0.0269	0.0339	0.0260
$Mg^{\cdot\cdot}$	0.0500	0.0422	0.0670	0.0462	0.0477	0.0454	0.0523	0.0455	0.0487	0.0504
$Ca^{\cdot\cdot}$	0.3030	0.2755	0.2938	0.2959	0.2925	0.2918	0.3146	0.2882	0.2957	0.3204
$Fe^{\cdot\cdot}$	0.0047	0.0049	0.0046	0.0049	0.0044	0.0051	0.0047	0.0059	0.0045	0.0047
Анионы										
Cl'	0.2898	0.2506	0.2836	0.2577	0.2605	0.2568	0.2401	0.2220	0.2695	0.2229
SO_4''	0.8610	0.7485	0.8414	0.8546	0.7772	0.7540	0.7515	0.6695	0.8149	0.7060
HCO'_3	1.3270	1.2411	1.3190	1.3375	1.2671	1.2949	1.3270	1.2993	1.3183	1.2642
H_2SiO_3	0.0489	0.0429	0.0479	0.0486	0.0418	0.0396	0.0270	0.0375	0.0366	0.0262
CO_2 (своб)	0.9393	1.2326	0.9540	0.8025	1.2056	1.3624	1.2514	1.4856	1.2304	1.1073
Сухой остаток	2.8850	2.5475	2.7755	2.4984	2.6350	2.6110	2.5990	2.4250	2.7370	2.4520

Таблица 3

Состав минеральных вод остальных групп Железноводска (в г/л)

	Источник № 1	Источник № 2	Карповский	Городской	Владимирский	Кегамовский	Камышки № 1	Камышки № 2
Катионы								
$Na^{\cdot}$	0.5392	—		0.2791	0.5770	0.5549	—	—
$K^{\cdot}$	0.0361	—	0.2362	0.0260	0.0350	0.0345	—	—
$Mg^{\cdot\cdot}$	0.0477	0.0455	0.0214	0.0927	0.0470	0.0485	—	—
$Ca^{\cdot\cdot}$	0.2728	0.2594	0.1987	0.2197	0.3150	0.3143	—	—
	0.0049	0.0045	—	0.0029	0.0055	0.0032	—	—
Анионы								
Cl'	0.2378	0.2334	0.1001	0.1209	0.2420	0.2310	0.2560	0.2560
SO_4''	0.7602	0.7373	0.3071	0.4497	0.7730	0.8021	—	—
HCO_3'	1.2276	1.1668	0.7772	1.1359	1.4010	1.3563	—	—
H_2SiO_3	0.0361	—	—	0.0305	0.0287	0.0287	—	—
CO_2 (своб.)	1.1988	—	—	1.5268	1.3620	1.2923	0.7196	0.316
Сухой остаток . . .	2.5426	2.4960	1.4370	1.7370	2.4447	2.6780	2.151	2.454

воды находятся в различных горных породах и на различной глубине имеют различные гидростатические уровни, и, следовательно, разные источники находятся в различных условиях для их эксплоатации и каптажа. Как видно из табл. 1, в этом отношении источники могут быть разбиты на несколько групп.

а) *Минеральные источники, выходящие из травертинов*, находятся близко от поверхности земли. Все они вытекают на пологих склонах Железной горы. Эти воды холодные.

Минеральными источниками, вытекающими из травертинов, являются Кегамовский и Камышки № 1 и № 2. Все они каптированы небольшими сборными резервуарами с почти горизонтальной трубой, выводящей воду ниже по склону.

б) *Минеральные воды в эоценовых фораминиферовых мергелях* и аргиллитах имеют небольшие гидростатические уровни немного ниже поверхности земли и довольно большой дебит, позволяющий значительно увеличивать расход буровой при незначительном понижении уровня самоизлива. Все буровые скважины, дающие эти минеральные воды, находятся на пологих склонах Железной горы. Принимая во внимание эти особенности, гидрогеологи Ж. Франсуа и Л. Дрю выработали оригинальную систему каптажа — комбинацию траншеи или штольни с мелкой буровой скважиной. Многие железноводские источники каптированы таким способом. Источники Нелюбинский горячий, Нелюбинский холодный и Гаазовский каптированы траншеями, закрытыми сверху и превращенными в штольни, и мелкими вертикальными буровыми.

Незлобинский источник вместо траншеи имеет выемку, и в забое ее мелкая наклонная буровая. Завадовский источник имеет выемку в виде грота с горизонтальной буровой в забое. Источник Франсуа каптирован мелкой вертикальной буровой скважиной с горизонтальной отводной трубкой в выемку, с бюветом ниже по склону. Все это разновидности одной и той же системы каптажа.

Такая же система каптажа применена для минеральных вод из трещиноватой зоны в трахилипаритах (источник № 1).

Этого же результата в некоторых случаях можно достигнуть наклонной буровой скважиной. Так как пьезометрическая поверхность подземных вод, циркулирующих по сети трещин в эоценовых фораминиферовых мергелях и аргиллитах, до некоторой степени повторяет поверхность земли, то в условиях склонов горы наклонные буровые скважины (так же, как комбинация штольни и буровой) дают самоизливающуюся воду, а вертикальные буровые в том же месте самоизлива не имеют.

в) *Условия каптажей минеральных вод из палеоценовых темных глинистых сланцев и сенонских известняков*. Гидростатические уровни этих вод значительно выше поверхности земли. Воды из палеоценовых сланцев характеризуются спокойным самоизливом, а из сенонских известняков бурным самоизливом, даже с фонтанированием. При этих условиях нет надобности в системе каптажей в виде комбинации штольни и буровой в забое или другой какой-нибудь сходной системе. Наилучшим каптажем в этих условиях является вертикальная буровая скважина, иногда наклонная, если желательно использовать преимущества ее. Каптаж Славяновского источника представляет вертикальную буровую. Каптажи источников Смирновского № 1, Смирновского № 2, Семашко и Владимирского представляют наклонные буровые скважины. Для Владимирского источника пришлось добавить штольню вследствие большого утечек минеральной воды через делювий и травертин. Этим достигнуто понижение уровня выхода воды на поверхность на несколько метров, что и предохраняет источник от падения дебита.

ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ БАЛЬНЕОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Из всего сказанного ясно, что железноводские минеральные источники представляют единое месторождение. Без всякого труда можно увеличивать количество источников или заменять один источник другим. Искусство инженера-резведчика состоит не в увеличении числа

источников, а 1) в отборе и сохранении наиболее ценных свойств источников (например, температуры, спонтанной углекислоты), 2) в увеличении суммарного дебита и 3) в выборе наиболее удобных мест для новых источников.

Самый простой способ увеличения дебита источников — это понижение уровня их самоизлива, что и предлагалось многими гидрогеологами в разное время, но этот способ крайне нежелателен, так как ведет к спуску курорта вниз по склону горы в худшие условия. Кроме того, он вызывает необходимость перекачки воды в некоторые ванные здания вместо самотека. Нужно суметь увеличивать ресурсы минеральной воды без понижения выхода источника. Увеличивать суммарный дебит минеральной воды можно за счет уменьшения потерь при растеке воды по сети мелких трещин и облегчения выхода минеральной воды на поверхность.

Южная группа

Наиболее полное извлечение воды из водовыводящей трещины южной группы предусматривал в проекте Ж. Франсуа [23]. Обе проведенные им штольни должны были быть доведены до изверженных пород (т. е. до сбросовой трещины), и забои штолен предполагали соединить штреком. Это не было выполнено, окончена была только штольня источника № 1.

Автор предполагал выполнить проект Ж. Франсуа с некоторыми изменениями. Штольню источника № 2 намечено довести до сбросовой трещины и из забоев обеих штолен провести круто наклонные буровые скважины для пересечения всей трещиноватой зоны. Ориентировочная глубина около 100—150 м. Этот проект автор начал осуществлять в 1915 г., проведя две наклонные буровые в головке штольни № 1. Они перехватили и заменили старые шесть горизонтальных буровых. В 1938 г. по моему предложению Бальнеологический институт продолжал эту работу и начал новую буровую скважину в забое источника № 1, очень круто наклонную в расстоянии 0.5 метра от старых буровых в целях заменить эти старые буровые, и начал прочистку штольни ист. № 2. С первых же шагов, т. е. при углублении на 1—2 м, ожидаемые результаты начали проявляться — суммарный дебит стал увеличиваться, но, конечно, произошло перераспределение воды по буровым [1], и дебит из старых моих буровых немного уменьшился. Это вызвало прекращение работы. (!) Я настаиваю на ее возобновлении и думаю, что (если не считать нежелательного, с моей точки зрения, понижения уровня самоизлива источников) это единственный способ увеличения суммарного дебита источников южной группы.

Таким образом наклонными буровыми из штолен первой и второй, т. е. с двух сторон водовыводящей тектонической трещины, будет забираться максимально возможное количество воды южной группы; вместе с тем это защитит железноводские санатории, расположенные в этом месте, от оползней.

Южная группа Железноводска богата горячей водой, количество которой, как указано, можно еще увеличить. Но она бедна холодными минеральными водами. Имеется несколько маленьких источников: Карповский, Хлебороб, источник в штольне Ударник, источник в санатории

[1] Так как Железноводск — единое месторождение, влияние буровых и источников друг на друга громадно. Зарегистрированы быстрые влияния даже в расстоянии 1 км.

«Дубовая роща». Из них только Хлебороб обладает значительным дебитом. Все эти источники мало минерализованы и заключают мало спонтанной углекислоты. Поэтому они не представляют ценности в бальнеологическом отношении. Если после проведения работ по увеличению дебитов источников № 1 и № 2 холодные источники южной группы иссякнут или уменьшатся, то никакого ущерба для курорта не будет. Наоборот, это было бы очень выгодно, так как уменьшило бы оползневые процессы, которые приносят большой ущерб санаториям (Хлебороб, Ударник). Можно легко восстановить засоренный в настоящее время источник «Дубовой рощи» или получить новые холодные минеральные источники в районе так называемого нижнего парка (от Островских до Народных ванн), но этого ни в коем случае не следует делать, так как это вредно отразится на главном железноводском источнике № 1 и на источнике № 2, который тоже можно сделать одним из главных.

Восточная группа

Углубление буровой Славяновского источника или проведение новой более глубокой буровой (желательно до трахилипаритов),[1] как это показывают наблюдения, несомненно сильно увеличит ресурсы восточной группы.

Были и другие предложения относительно увеличения дебита источников восточной группы.

А. Проведение новой буровой скважины немного ниже по склону. Это предложение имеет два существенных недостатка:

а) Увеличится дебит за счет понижения уровня самоизлива, что, как указано выше, нежелательно, чтобы не ухудшить условий эксплоатации; понижение возможно всего на 2—3 м, иначе придется качать насосом воду в ванное здание, что, по моему мнению, нежелательно ни с точки зрения условий сохранения свойств воды, ни с экономической.

б) При этом минеральная вода будет взята не из водовыводящей сбросовой трещины, а из сети трещин отдельности в палеоценовых черных глинистых сланцах, т. е. будут захвачены дериваты.

Б. Предлагалось взять минеральную воду в лощине между горами Железной и Бештау при помощи очень глубокой буровой скважины. Нет сомнения, что воды таким образом можно получить много, но при этом пострадают и прекратят свое существование верхние источники, курорт будет спущен с горы вниз, и не обойтись без перекачек воды насосом в ванное здание. Все очарование Железноводского курорта связано с высоким его положением на склоне горы. По всей вероятности, тип воды изменится в худшую сторону (вероятно, появится сероводород). Увеличивать дебит источников за счет ухудшения курорта, по-моему, недопустимо. Увеличение дебитов источников путем понижения уровня самоизлива источников производили в прежнее время Ж. Франсуа [23] и Л. Дрю [26] и проектировал Э. Э. Эйхельман [25]. Этого не надо делать в будущем без настоятельной необходимости.

Тесная связь источников восточной группы между собой (и более отдаленная связь с источниками других групп) указывает на то, что не должно существовать таких источников, которые по той или другой причине не эксплоатируются. Таким источником является выведенный

[1] Если этот контакт вообще можно пересечь вертикальной буровой.

мною источник Семашко.[1] По составу и температуре он промежуточный между Смирновским и Славяновским, но в отличие от этих двух источников он никак не эксплоатируется (имеется бювет, но эту воду очень мало пьют). Если расход источника Семашко регулировать спуском в буровую трубы меньшего диаметра или задвижкой, уменьшится его дебит и значительно увеличится дебит самых популярных источников — Славяновского и обоих Смирновских. Такого рода регулирование расхода очень легко выполнимо и желательно. Так как при этом обсадные трубы выниматься не будут, то вернуться к полной эксплоатации источника, если бы это оказалось желательным, будет очень легко.

Холодные минеральные источники на восточной группе мною уже увеличены в 1928 г. новым каптажем Завадовского источника. Каптаж холодных источников по проекту А. П. Незлобинского [7, 8] при помощи галерей вдоль по простиранию пород с водовыводящими штольнями увеличит дебит этих вод, но работа должна производиться очень осторожно, чтобы не повлиять на источники Смирновский и Муравьевский горячий.

Южный склон Пушкинского холма

В 1928 г. мною открыт так называемый Городской источник (буровой скважиной). В это время прилегающий участок б. Рогозина (угловой между Инженерной и Парковой) был густо застроен. Сейчас он очищен для постройки санатория. На этом участке можно получить холодную минеральную воду типа Городского источника, но с гораздо большим дебитом. Гипсометрически это на той же высоте, как Островские ванны. Потребуется перекачка воды в ванное здание.

Северная группа

Углубление буровой Владимирского источника немного увеличит его дебит и повысит температуру. Эту работу нужно сделать только после постройки около этого источника ванного здания.

Расширение сборного резервуара Кегамовского источника (непременно без его понижения) немного увеличит его дебит.

Западная группа

Можно восстановить исчезнувший Эмануелевский источник, выведя его ни в коем случае не ниже, чем на уровне источника №1 при помощи штольни значительной длины в комбинации с наклонной буровой (по типу каптажа источника № 1 и Владимирского). Это — работа отдаленного будущего, так как в настоящее время выведение в этом месте не нужно. При выполнении этого проекта уменьшится дебит источника № 1 и, может быть, Владимирского.

Камышки

Сделанные мной в 1928 г. каптажи двух источников в Камышках были разрушены, даже с увозом каменных плит. Я предложил Бальнеологическому институту в 1939 г. восстановить эти каптажи. Это теперь сделано.

[1] Проведение этой буровой имело специальную цель. Предполагалось получить воду несколько другого типа, но это не удалось осуществить, вследствие изменения гидрогеологических условий после проведения буровой Славяновского источника (об этом подробно сказано в моем рукописном отчете).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время минеральной воды в Железноводске достаточно (по наличию современных ванных зданий), но курорт быстро развивается. Скоро придется строить новое ванное здание, и тогда можно указанными выше способами увеличить суммарный дебит минеральных источников. Это увеличение, по моему мнению, может выразиться в 10—15%.

Места расположения новых ванных зданий совершенно ясны.

1. На восточной группе в парке немного ниже существующих сейчас старых ванных зданий Славяновского и Нелюбинского, в любом месте между этими зданиями, лучше вблизи Славяновского. Все источники восточной группы, включая Завадовский, самотеком будут поступать в ванное здание. Ванное здание на 50—60 кабин с пропускной способностью до 1000 человек в день. Это — работа первой очереди.

2. На северной группе немного ниже Кегамовского источника на 10 ванн. Пропускная способность до 200 человек в день. Это — работа второй очереди.

Расширение жилищной площади может быть выполнено в следующих местах:

1) За вокзалом на северном склоне горы Бештау — прекрасный большой участок в лесу на пологом склоне. Он непосредственно примыкает к Железноводску.

2) Небольшой участок ниже Горизонтальной дороги на западном склоне горы Железной от санатория «Горный воздух» и западных ворот на Горизонтальной улице до Владимирского источника. Это лучшее в микроклиматическом отношении место в Железноводске, защищенное от восточных ветров. Оно находится близко от источника № 1 и Нового ванного здания, а также от Владимирского ванного источника и будущего Владимирского ванного здания. В центре участка может быть сделан каптаж Эмануелевского источника и небольшое ванное здание.

3) На север от парка и восточной группы источников от Горизонтальной аллеи до нижней дороги, проходящей от садоводства в городе мимо ванных зданий Славяновского и Нелюбинского.

Дальнейшее увеличение Железноводского курорта должно итти по пути устройства филиала курорта на южном склоне горы Бык, где известны, но не разведаны интересные минеральные воды, и может быть на склоне горы Медовки, где, повидимому, минеральная вода может быть получена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. [Н. Н. Славянов]. Железноводск в настоящем и в будущем. (Доклад инженера Н. Н. Славянова о гидрогеологических работах на группе). Кавказский край, Пятигорск, 1917.
2—3. А. П. Герасимов. Геологическое строение Минераловодского района (Северный Кавказ). I. Бештау — Железноводск — Сухой Карамык. II. Кристаллические породы северных лакколитов. Пятигорск. Тр. ЦНИГРИ, 30 и 93, 1935 и 1937.
4. А. П. Герасимов. Краткий геологический очерк района Кавказских минеральных вод. Железноводск. Гидрогеологический очерк. Мат. к позн. геол. и страт. Росс., III, СПб., 1911.
5. Н. К. Игнатович, П. Н. Палей, Н. Н. Славянов. Гидрогеологические исследования Псекупских минеральных источников. Мат. по общ. и прикл. геол., 101, Лгр., 1933.

6. Х. С. Коштоянц. Биологические наблюдения у истоков Кавказских минеральных вод. Курортное дело, № 1, 1923.
7. А. И. Незлобинский. О наблюдениях, произведенных во время разведочных работ на минеральную воду в Железноводске с 1874 по 1878 г. Тифлис, 1879.
8. А. И. Незлобинский. Две записки о способе разведки и разработки холодных источников в Железноводске. Протокол засед. Русск. бальнеол. общ., VIII. Пятигорск, 1875.
9. А. Нелюбин. Полное историческое, медико-топографическое, физико-химическое и врачебное описание Кавказских минеральных вод, I, II, СПб., 1825.
10. П. Савенко. Кавказские минеральные воды. СПб., 1828.
11. Н. Н. Славянов. Геологическая разведка в Железноводске зимой 1916—1917 г. и ее результаты. Кавк. курорты, № 2, Пятигорск, 1917.
12—15. Н. Н. Славянов. Железноводск. Изв. Геол. ком., 1913, стр. 189—193; 1914, стр. 56—66; 1916, стр. 124—130; стр. 80—87. СПб., 1917.
16. Н. Н. Славянов. Каптаж Смирновского источника. Изв. Геол. ком., стр. 420, СПб., 1922.
17. Н. Н. Славянов. Новый каптаж Смирновского источника в Железноводске. Вестн. Геол. ком., № 5, Пгр., 1925.
18. Н. Н. Славянов. О санитарном округе охраны Железноводского курорта с точки зрения гидрогеолога. Кавк. курорты, № 2, Пятигорск, 1917.
19. Н. Н. Славянов. Отчет о разведочно-геологических работах в Железноводске в 1912 г. Отч. дир. Кавк. мин. вод, 1912, Пятигорск, 1914.
20. Н. Н. Славянов. Отчет о разведочно-геологических работах в Железноводске в 1913 г. Отч. дир. Кавк. мин. вод, 1913, Пятигорск, 1914.
21. Н. Н. Славянов. Программа геологической разведки в Железноводске в 1917 г. Кавк. курорты, № 2, Пятигорск, 1917.
22. Н. Н. Славянов. Эволюция инженерной мысли в создании каптажей минеральных источников. Курортное дело, № 12, Москва, 1928.
23. Ж. Франсуа. Программа работ по устройству Кавказских минеральных вод. Перевод Я. Верлина. Медиц. сб. Кавк. медиц. общ., № 26. Тифлис, 1878.
24. И. И. Штанге. О результатах периодических химических исследований источников района Кавказских минеральных вод. Зап. Русск. бальнеол. общ., XVI, № 1. Пятигорск, 1914.
25. Э. Э. Эйхельман. Железноводские минеральные источники и их каптаж. Зап. Русск. бальнеол. общ., X, Пятигорск, 1909.
26. L. Dru. Rapport sur les eaux minérales du Caucase. Mission de 1882. Paris, 1884.

Исчерпывающий список литературы см. в рукописи Н. Н. Славянова «Железноводск. Разведка 1912—1916 гг.», I, II, III, IV, 1940.

Н. Н. СЛАВЯНОВ

ЕЙСКИЙ МИНЕРАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК, ЕГО КАПТАЖ И ИСТОРИЯ

Ейский курорт, обладающий ценной сероводородной водой и прекрасной минеральной грязью Ханского озера, находится в г. Ейске, расположенном на высоком берегу Азовского моря и крупного Ейского лимана. Удачно расположенный портовый город всегда нуждался в воде для водоснабжения и в прежнее время питался колодезной водой низкого качества и дождевой водой, собираемой жителями с крыш в цистерны. Изыскания на пресную воду производились в Ейске несколько раз.

В девяностых годах прошлого столетия В. Д. Соколов дал описание геологических условий водоснабжения в Ейске, и тогда же была проведена буровая скважина на каменном винном складе. Вторая скважина была пробурена на Сенной площади инженером Ковалевым. Третья скважина заложена по заданию Городского управления на Черноморской улице; впоследствии она эксплоатировалась курортом с лечебными целями (фиг. 2).

Геологический разрез двух первых скважин описан И. Ф. Синцовым [4]. Скважина на Сенной площади на глубине 145 м встретила горючие газы, вызвавшие извержение воды и песка. Это описано А. А. Иностранцевым [1].

Буровая винного склада имела глубину 55.75 м. И. Ф. Синцовым были указаны в ней следующие горизонты: 1) синеватая глина с прослойками серого песка, содержащая обломки *Unio* и *Vivipara*, 41.5—44.8 м; 2) серый глинистый песок с гальками и обломками *Vivipara*, 44.8—47.5 м; 3) мелкий водоносный песок с гальками и *Dreissensia polimorpha*, *Unio* sp., *Valvata*, *Pisidium*, 45.5—51.8 м.

Буровая на Сенной площади, глубиной 145 м, прошла характерный горизонт зеленой глины с раковинками на глубине 48.77—51.66 м. Этот слой соответствует слою 41.5—44.8 буровой винного склада.

Разрез третьей буровой скважины, положившей начало Ейскому курорту, опубликован Л. К. Конюшевским [2, 3] (фиг. 1).

Сравнивая разрезы этих трех буровых, Л. К. Конюшевский считает, что слой 48.77—51.66 м на Сенной площади соответствует слою 41.5—44.8 м на винном складе и 39.6—42.7 м на Черноморской улице. По данным И. Ф. Синцова, в буровой скважине на Сенной площади газоносный горизонт находился на глубине 143.66 м, а ил с кусками полуразвалившегося дерева начался одним метром выше. По данным Л. К. Конюшевского, слои с кусками дерева, а глубже с углистыми включениями в буровой на Черноморской улице встречены на глубине

Разрез буровой скважины на Черноморской ул. (буровая курорта № 1)

№ п.п.	Описание пород	Глубина от ур. земли, в м	Примечание
1	Растительная земля темносерая известковистая	0—0.6	
2	Желтая сильно известковистая глина	0.6—7.3	
3	Светложелтая известковистая глина, распадающаяся в воде	7.3—22	
4	Песчанистая желтая глина с прослойками песчаника и известковыми гадьками	22—25	
5	Желтая сильно песчанистая глина	25—26.5	
6	Мелкозернистый желтый рыхлый глинисто-известковистый песчаник	26.5—29.6	
7	Желтый глинисто-известковистый мелкозернистый песок	29.6—31.1	
8	Серовато-желтая известковистая глина	31.1—32.0	
9	Желтый мелкозернистый известковистый кварцевый песок	32.0—39.6	
10	Желтый известковистый кварцевый песок с *Congeria* sp., *Pisidium amnicum* Müll., *Dreissensia* sp.	39.6—42.7	Плиоцен или четвертичные отложения
11	Желтый песок с прослойками светлых мелкозернистых, слабо известковистых песчаников с обломками *Melanopsis* sp., *Unio tumides* Retz., *Vivipara fasciata* Müll., *Dreissensia polymorpha*	42.7—47.2	Нижний постплиоцен или верхний плиоцен
12	Серая песчанистая глина	47.2—48.2	
13	Желтовато-серый мелкозернистый песок, несколько известковистый	48.2—57.9	
14	Светлый мелкозернистый кварцевый песок	57.9—71.3	
15	Крупнозернистый кварцевый песок	71.3—71.9	
16	Мелкозернистый светлый известковистый песок	71.9—76.5	
17	Светлый кварцевый песок средней крупности	76.5—88.7	Сероводородная вода
18	Серая глина с включением кварцевого песка	88.7—89.3	
19	Серовато-белый весьма мелкозернистый кварцевый песок	89.3—103.5	
20	Серая вязкая глина	103.5—104.8	
21	Серая слюдистая глина с растительными отпечатками	104.8—105.7	
22	Весьма мелкозернистый светлый песок с остатками древесных стволов	105.7—108.8	Соответствует такому же горизонту в скважине на Сенной площади
23	Светложелтый мелкозернистый песок	108.8—122.2	
24	Серый весьма мелкозернистый глинистый песок или песчанистая глина с черными углистыми включениями	122.2—128.0	
25	Желтоватый мелкозернистый песок	128.0—134.1	
26	Слюдисто-песчанистая глина с включением углистого вещества	134.1—140.2	
27	Светлосерый очень мелкозернистый несколько глинистый рыхлый песчаник	140.2—141.1	
28	Темносерый гигроскопический весьма тонкообломочный вулканический пепел	141.1—141.7	
29	Желтовато-серая глина	141.7—150.9	
30	Желтовато-серый светлый очень мелкозернистый кварцевый песок	150.9—151.5	

Продолжение

№ п.п.	Описание пород	Глубина от ур. земли, в м	Примечание
31	Светлый желтовато-серый кварцевый песок с гальками бурой кремнисто-глинистой породы и раковинами *Cardium obsoletum, Tapes* sp.	151.5—166.1	
32	Светлосерый мелкозернистый кварцевый песок	166.1—167.0	
33	Слюдисто-песчаная серая глина	167.0—172.2	
34	Желтовато-серый светлый мелкозернистый известковый кварцевый песок	172.2—173.7	
35	Серая сланцеватая слюдистая глина	173.7—177.4	
36	Мелкозернистый светлосерый известковистый кварцевый песок (или рыхлый песчаник)	177.4—179.2	
37	Известковистый оолитовый песок	179.2—180.7	
38	Светлый песок, состоящий из ядрышек оолита, мелких раковин, среди которых найдены *Hydrobia* sp., *Ervilia praepodolica* Andr., *Venus konkensis* Sokol., *Syndesmia* sp.	180.7—186.8	Вероятно, включения кусков пород конкского яруса среди песков сармата
39	Серая известковистая и солоноватая глина с обломочками мелких раковин	186.8—188.4	
40	Мелкий песок из битых раковин *Tapes* sp., *Venus* sp., *Dreissensia* sp.	188.4—195.1	
41	Светлосерая сильно песчанистая глина с весьма мелкими блестками калиевой слюды	195.1—207.9	
41а	Образцы отсутствуют, вероятно тоже глина, судя по рассказу бурового мастера	207.9—210.3	
42	Очень мелкозернистый светлосерый песок	210.3—218.5	
43	Серая сланцевая глина	218.5—220.1	
44	Светлый желтовато-серый мелкозернистый песок с *Tapes* sp.	220.1—234.4	
45	Светлосерый мелкозернистый оолитовый известняк	234.4—238.9	
46	Серовато-белый марающий весьма мелкозернистый оолитовый мелоподобный известняк	238.9—240.2	
47	Известняк-ракушник и битые мелкие черные раковины (*Tapes* sp. и др.)	240.2—248.4	
48	Битые черные раковины, среди которых найдены: *Mactra* sp., *Cardium obsoletum* Eichw, *Hydrobia* sp., *Tornatina lajanceireana*	248.4—250.2	Сармат
49	Серый мелкозернистый пористый песчаник с весьма мелкими раковинами и черные битые раковины *Tapes gregaria, Cardium obsoletum*	250.2—257.5	
50	Битые черные раковины, среди которых найдены: *Ervilia* sp., *Cardium Fittoni* d'Orb., *Cardium obsoletum* Eichw., *Cardium Barboti* Horn., *Tornatina laianceireana* Bust.	257.5—260.0	Средний сармат
51	Серая песчанистая глина с *Cardium* sp.	260.0—264.0	
52	Светлосерая тонко полосчатая слюдисто-песчанистая глина	264.0—268.2	
53	Темносерая сланцеватая слабо известковистая глина	268.2—378.6	

Продолжение

№ п.п.	Описание пород	Глубина от ур. земли, в м	Примечание
54	Очень мелкозернистый серый кварцевый песок с блестками белой слюды и прослойками темносерой сланцеватой глины с отпечатками мелких раковин	378.6—381.0	
55	Зеленовато-серая солоноватая глина с включением известковых частиц	381.0—381.6	
56	Серый очень мелкозернистый известковистый песок с обломками раковин	381.6—381.9	
57	Светлосерый мелкозернистый кварцево-глауконитовый песок с обломками раковин	381.9—382.5	Спаниодонтелловые слои
58	Зеленоватый глауконитовый мергель с *Spaniodontella Barboti*	382.5—383.1	
59	Зеленовато-серый песок ракушечник	383.1—384.7	
60	Темносерая, местами зеленая песчано-мергелистая глина, легко распадающаяся в воде, содержащая обломки *Spaniodontella*	384.7—457.2	
61	Светлосерый очень мелкозернистый кварцевый песок с довольно редкими обломками черных раковин	457.2—463.3	

от 105.7 до 140.2 м. Л. К. Конюшевский на этом основании высчитывает падение слоев, примерно, на ВЮВ под углом в 2.5°.

Буровая на Черноморской улице была проведена фирмой Ф. Вангель по заданию Городского управления в 1910 г. в целях изыскания воды для водоснабжения. В верхних горизонтах (над плотной зеленоватой глиной) буровая давала воду в незначительном количестве. На глубине 76.5—103.6 м была встречена вода, охарактеризованная как негодная ни для питья, ни для хозяйственных целей, с сильным запахом сероводорода. Бурение продолжалось дальше и было доведено до 463.3 м, причем новых водоносных горизонтов не было. Встреченная на глубине 76.5—103.6 м минеральная вода вначале не была оценена. На нее обратил внимание в 1912 г. химик-фармацевт Каневский. Им и лабораторией Петербургского университета были произведены анализы и после заключения командированных экспертов — геолога Л. К. Конюшевского и химика Э. Э. Карстенс — в 1913 г. вода признана лечебной, и в Ейске был открыт курорт.

Химический анализ воды из этой буровой скважины в самом начале функционирования курорта был сделан химиком Э. Э. Карстенс из пробы воды, взятой 8/21 ноября 1913 г. (табл. 1 и 2). Температура воды на глубине около 70 м 12.45° С. Проба воды набиралась при непрерывном откачивании насосом производительностью 200 ведер в час. Откачивание производилось двое суток перед взятием пробы.

Вода анализировалась неоднократно в последующее время, и анализы показали достаточную химическую ее стойкость.

Для сравнения состава воды Ейского минерального источника с водой моря, буровой на Сенной площади и колодца во дворе электрической станции в табл. 3 приведены соответствующие анализы, выполненные Э. Э. Карстенс в 1913 г.

Конструкция буровой скважины показана на фиг. 1. Трубы 50.8 см (20″) спущены от поверхности земли до 32.3 м, трубы 46.8 см (16″)

Таблица 1

Анализ воды Ейского минерального источника, 21 XI 1913 г. (г/л)

Определенные анализом составные части		Перечисление анализа в солевую форму	
Окиси лития (Li_2O)	0.0002	Хлористого лития (LiCl)	0.0007
» натрия (Na_2O)	0.9558	» калия (KCl)	0.0144
» калия (K_2O)	0.0091	» аммония (NH_4Cl)	0.0139
Аммиака (NH_3)	0.0044	» натрия (NaCl)	1.6583
Окиси магния (MgO)	0.1230	Бромистого натрия (NaBr)	0.0019
» кальция (CaO)	0.1555	Иодистого » (NaJ)	0.0015
» стронция (SrO)	0.0002	Сернокислого натрия (Na_2SO_4)	0.1273
» бария (BaO)	0.00007	Серноватистокислого натрия ($Na_2S_2O_3$)	0.0140
» меди (CuO)	мин. сл.	Сернистого натрия (Na_2S)	0.0172
Закиси марганца (MnO)	0.00008	Хлористого магния ($MgCl_2$)	0.1720
» железа (FeO)	0.0011	Кислого фосфорнокислого кальция ($CaHPO_4$)	0.0003
Окиси алюминия (Al_2O_3)	0.0004	Кислого мышьяковокислого кальция ($CaHAsO_4$)	0.0001
Фтора (F)	0.00003	Фтористого кальция (CaF_2)	0.00005
Хлора (Cl)	1.1495	Двууглекислого кальция $Ca(HCO_3)_2$	0.4489
Брома (Br)	0.0015	» магния $Mg(HCO_3)_2$	0.1816
Иода (J)	0.0013	» стронция $Sr(HCO_3)_2$	0.0003
Ангидрида серной кислоты (SO_3)	0.0717	Двууглекислого бария $Ba(HCO_3)_2$	0.0001
Ангидрида серноватистой кислоты (S_2O_3)	0.0085	Двууглекислой меди $Cu(HCO_3)_2$	мин. сл.
Ангидрида фосфорной кислоты (P_2O_5)	0.0001	Двууглекислой закиси марганца $Mn(HCO_3)_2$	0.0002
Ангидрида мышьяковой кислоты (As_2O_5)	0.00005	Двууглекислой закиси железа $Fe(HCO_3)_2$	0.0026
Ангидрида борной кислоты (B_2O_3)	0.0017	Окиси алюминия (Al_2O_3)	0.0004
Углекислоты всей (CO_2)	0.5326	Метакремневой кислоты (H_2SiO_3)	0.0145
Углекислоты связанной	0.1773	Метаборной кислоты (HBO_2)	0.0021
Углекислоты свободной	0.1780	Органического вещества (окисл. грамм O_2)	0.0075
Сероводорода всего (H_2S)	0.0645		
» связанного	0.0075		
» свободного	0.0570		
Ангидрида кремневой кислоты (SiO_2)	0.0112	Сумма твердых составных частей	2.5081
Органического вещества (окисл. грамм O_2)	0.0075	Углекислоты свободной (CO_2)	0.1780
Ангидрида азотной кислоты (N_2O_5)	нет	Сероводорода свободного (H_2S)	0.0570
Ангидрида азотистой кислоты (N_2O_3)	нет	Сумма всех составных частей	2.7431
Сухого остатка (180°)	2.5050		

до 71.9 м, трубы 33.0 см (13″) до 78.0 м. Судя по описанию Л. К. Конюшевского, все эти трубы сохранились во все время эксплоатации этой буровой (и находятся в буровой и сейчас, после того как она была забита мною в 1927 г. глиной). В процессе бурения были спущены трубы и меньшего диаметра, именно диаметром 25.4 см (10″) до 235 м, диаметром 15.2 см (9″) до 319 м, трубы 10.16 см (4″) до 382.5 м и трубы 7.62 см (3″) до забоя. Сейчас же после окончания бурения они были

Таблица 2

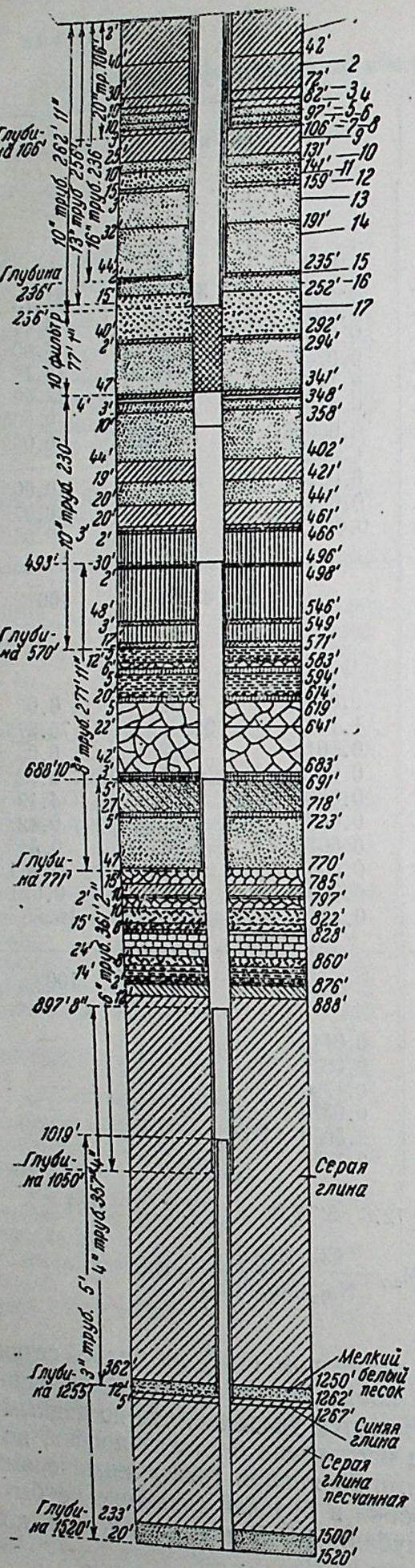
Перечисление анализа в ионную и эквивалентную форму

	г/л	мг-экв.	%-экв.
Катионы			
Иона лития (Li)	0.0001	0.01	0.02
» натрия (Na)	0.7095	30.85	71.73
» калия (K)	0.0076	0.19	0.44
» аммония (NH_4)	0.0047	0.26	0.60
» магния ($Mg^{··}$)	0.0742	6.10	14.18
» кальция ($Ca^{··}$)	0.1111	5.55	12.90
» стронция ($Sr^{··}$)	0.0001	0.002	0.005
» бария ($Ba^{··}$)	0.00006	0.0009	0.002
» меди ($Cu^{··}$)	Следы	Следы	—
» марганца ($Mn^{··}$)	0.00006	0.002	0.005
» железа ($Fe^{··}$)	0.0009	0.03	0.07
» алюминия ($Al^{···}$)	0.0002	0.02	0.05
Сумма	—	43.01	100%
Анионы			
Иона фтора (F')	0.00003	0.02	0.05
» хлора (Cl')	1.1495	32.42	75.87
» брома (Br')	0.0015	0.02	0.05
» иода (J')	0.0013	0.01	0.02
» сульфата (SO''_4)	0.0860	1.79	4.19
» тиосульфата (S_2O_3'')	0.0099	0.18	0.42
» гидросульфида (HS')	0.0073	0.22	0.51
» гидрофосфата (HPO''_4)	0.0001	0.002	0.005
» гидроарсената ($HAsO''_4$)	0.0006	0.009	0.02
» гидрокарбоната (HCO'_3)	0.4916	8.06	18.86
Сумма	—	42.73	100%
Метакремневой кислоты (H_2SiO_3)	0.0145	—	—
Метаборной кислоты (HBO_2)	0.0021	—	—
Углекислоты свободной (CO_2)	0.1780	—	—
Сероводорода свободного (H_2S)	0.0570	—	—
Сухого остатка 180°	2.5050	—	—
Сумма составных частей	2.7431	—	—

Формула Пальмера . . . . . S′ 72.8 S″ 7.8 A″ 19.3 A‴ 0.1

Формула Курлова . . . . . $M_{2\cdot7}\dfrac{Cl_{76}\cdot HCO_{3\ 19}}{Na_{72}\cdot Mg_{14}\cdot Ca_{13}}H_2S$

вынуты или вырезаны. Фильтр 25.4 см диаметром (10″) из медной сетки на железной трубе длиной 23.5 м был поставлен сейчас же ниже башмака 13″ труб. В архивных сведениях имеется указание, что по данным фирмы Ф. Вангель ниже фильтра была поставлена бетонная пробка, но промер буровой скважины, произведенный 23 января 1922 г. инженером Нефедьевым, показал, что бетонной пробки в буровой скважине не было, а следовательно, вся буровая от глубины 101.5 м до забоя, т. е. до 463.3 м, заполнена мертвым столбом воды.



Фиг. 1. Разрез буровой скважины Ейского артезианского колодца, находящегося по Черноморской улице.

1 — красная глина, 2—42 фута; *2* — желтая глина, 42 — 72 фута; *3* — желтая глина, 72 — 82 фута; *4* — песчанистая глина, 82 — 87 футов; *5* — твердый песок, 87 — 97 футов; *6* — желтый песок, 97 — 105 м; *7* — желтая глина, 105 — 106 м; *8* — песчанистая глина, 106 — 131 м; *9* — белый песок, 131 — 141 м; *10* — крупный песок, 141 — 156 м; *11* — синяя глина, 156 — 159 м; *12* — синий песок, 159 — 191 м; *13* — мелкий белый песок, 191 — 235 м; *14* — крупный песок, 235— 292 м; *15* — синяя глина, 292 — 294 м; *16* — мелкий белый песок, 294 — 341 м; *17* — синяя глина, 341 — 345 м; *18* — ил серый, 345 — 348 м; *19* — мелкий белый песок, 348 — 358 м; *20* — мелкий белый песок, 358 — 402 м; *21* — синяя глина, 402 — 421 м; *22* - мелкий белый песок, 421 — 441 м; *23* — синяя глина, 441 — 461 м; *24* —черная глина, 461 — 466 м; *25* — глинистый ил, 466 — 466 м; *26* — ил твердый, 466 — 496 м; *27* — мелкий белый песок, 496 — 498 м; *28* — ил серый, 498 — 546 м; *29* — мелкий белый песок, 546 — 549 м; *30* — ил серый, 549 — 566 м; *31* — мелкий белый песок, 566 — 571 м; *32* — песочный камень, 571 — 583 м; *33* — серый камень, 583 — 589 м; *34* — ил серый, 589 — 594 м; *35* — песчаный камень, 594 — 614 м; *36* — ил серый, 614 — 619 м; *37* — серый камень, 619 — 641 м; *38* — серый камень, 641 — 683 м; *39* — ил синий, 683 — 686 м; *40* — ил синий, 686—691 м; *41* — песок и суглинок, 691—718 м; *42* — ил твердый, 718 — 723 м; *43* — синий песок, 723 — 770 м; *44* — серый камень, 770 — 785 м; *45* — белая глина, 785 — 795 м; *46* — серый камень, 795 — 807 м; *47* — черная ракушка, 807 — 822 м; *48* — черная ракушка, 822 — 828 м; *49* — песчаник глинистый, 828 — 852 м; *50* — черная ракушка, 852 — 860 м; *51* — твердый камень, 860 — 874 м; *52* — черная ракушка, 874 — 876 м; *53* —серый суглинок, 876 — 888 м; *54* — серая глина, 888 — 1250 м; *55* — мелкий белый песок, 1250 — 1262 м; *56* — синяя глина, 1262 — 1267 м; *57* — серая глина песчаная, 1267 — 1500 м; *58* — мелкий песок, 1500—1520 м.

Таблица 3

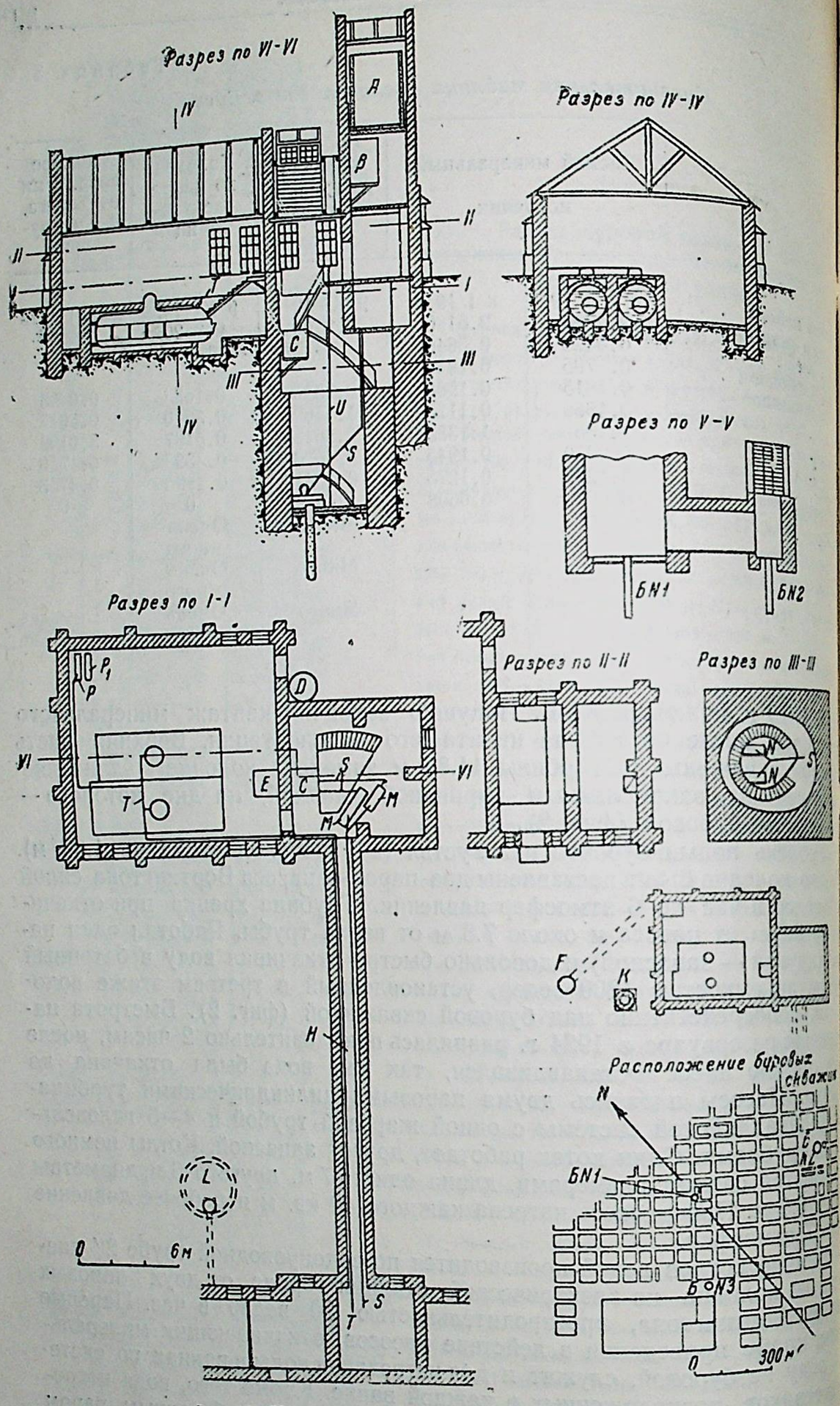
Сравнительная таблица анализов вод г. Ейска

	Ейский минеральный источник		Буровая на Сенной площади	Колодец во дворе электростанции	Азовское море, 5 км от берега, 4.5 м глубины
Время набора	28 XII 1913	8 I 1914	9 XI 1913	9 XI 1913	7 XI 1913
Сухого остатка	2.5820	2.5180	3.9760	2.3520	7.4880
CO_2 всей	0.5425	0.5646	—	—	—
CO_2 свободной	0.1795	0.1846	—	—	—
CO_2 связанной	0.1815	0.1900	0.2346	0.1636	0.0493
SO_3	0.1666	0.1173	1.1169	0.3810	0.5017
Cl_2	1.1367	1.1335	0.8645	0.5187	3.9192
CaO	0.2050	0.1945	0.4680	0.4325	0.1750
MgO	0.1243	0.1225	0.4041	0.2195	0.4753
H_2S, всего	0.0625	0.0608	—	0	0
N_2O_5	—	—	Много	Очень много	—
N_2O_3	—	—	Много	Очень много	—
NH_3	—	—	Много	Очень много	—

В 1913 г. инженер А. Е. Подушко закончил каптаж минерального источника, после чего была начата его эксплоатация. Верхняя часть буровой скважины до глубины 11.85 м заменена колодцем эллиптического сечения, закрепленным кирпичной кладкой, на дне которого — новое устье буровой (фиг. 2).

Уровень воды в буровой ниже устья (в 1924 г. он стоял на 1.06 м). На дно колодца были поставлены два паровых насоса Вортингтона силой 600 ведер в час до 6 атмосфер давления. Глубина храпка при откачивании 8.5 м от насоса и около 7.8 м от верха трубы. Работал один насос (другой — запасной) и довольно быстро откачивал воду в бетонный резервуар емкостью 1800 ведер, установленный в третьем этаже водонакачки, непосредственно над буровой скважиной (фиг. 2). Быстрота наполнения резервуара в 1924 г. равнялась приблизительно 2 часам, после чего обычно насос останавливался, так как вода была откачана до храпка. Насосы питались двумя паровыми цилиндрическими турбинами Корнваллийской системы с одной жаровой трубой и 4—5 галовельскими трубками. Один котел работает, другой запасной. Котлы немного отличаются своими размерами, длина одного 7 м, другого 6 м, диаметры 0.85 и 0.9 м. Поверхность нагрева каждого 40 кв. м и рабочее давление было 7 атмосфер.

Питание котлов водой производится по водопроводной трубе 2″ диаметра из колодца на электрической станции города от двух паровых насосов Вортингтона, производительностью 30 ведер в час. Паровые котлы, кроме приведения в действие насосов, откачивающих минеральную воду из буровой, служат и для нагревания воды в ваннах по системе змеевиков, расположенных в каждой ванне. Кроме того, вода нагревается в железных цилиндрических холодильниках отработанным паром по пути своего движения от резервуаров до ванного здания. Минеральная вода передается в ванное здание по подземной галлерее, проведенной



Фиг. 2. Каптаж Ейского серного источника 1924 г.

Обозначения: *A*—резервуар для серной воды; *BCD* — резервуар для пресной воды; *EF* — рез.д... для нефти; *K* — фабричная труба; *L*—резервуары отработанной серн й воды; *MM* — холодильн... для отработанного пара и подогреватели серной воды; *N* — насосы Вортингтона для серной в... *P*—насосы Камерона для воды; P_1—насосы Камерона для нефти; *S*—трубы с серной водой; *T*—тр... с паром; *U*—трубы от насоса Гарда.

между ванным зданием и машинным отделением, расположенным против него через улицу (фиг. 2).

Недостатками каптажа являлись:

1. Случайно выбранная точка для буровой скважины в центре города, а не на берегу моря в удобной для устройства курорта местности. Этот неправильный выбор надолго испортил развитие курортного дела в Ейске.

2. Приспособленная для курорта случайная буровая скважина вместо стометровой глубины имела около 500 м, из-за чего ниже водоносного горизонта образовался 360-метровый столб застойной воды.

3. Приспособлена была разведочная буровая скважина, а не эксплоатационная; закрепление ее обсадными трубами было сделано недостаточно солидно.

4. Фильтр из медной сетки быстро подвергался коррозии от действия минеральной воды, и, вероятно, отверстия его забивались сернистым железом, сернистой медью и мелкозернистым песком, что вызвало довольно быстро прекращение действия этой буровой. Как описано ниже, то же самое случилось впоследствии и с другими скважинами, поставленными на смену первой. Нужно было сделать фильтр алюминиевый, или из нержавеющей стали, или хотя бы медный луженый, или гравийный фильтр.

Начиная с 1920 г., а может быть и раньше, в минеральном источнике было замечено уменьшение дебита. Вместо 30—35 тыс. ведер в сутки источник начал давать значительно меньше. Зимой 1924 г. и летом 1925 г. источник при тех же условиях откачивания давал только около 15 тыс. ведер. Упал и статический уровень воды в буровой (30 октября 1925 г. по моему замеру уровень воды был 2.07 м ниже верха трубы на дне каптажного колодца). Состав воды остался прежним.

Первое обследование и выяснение причины уменьшения дебита источника было сделано инженером Нефедьевым в 1922 г. Он прочистил обсадную трубу стальной щеткой, промыл скважину, пуская в нее воду из резервуара для серной воды, и поставил бетонную пробку толщиной 0.3 м на глубине 136.5 м от верха обсадной трубы. Уменьшение дебита Нефедьев объяснял засорением фильтра и накоплением ила в скважине.

При моем осмотре буровой в 1924 г. трубы до глубины 125.9 м от верха оказались незасоренными (были использованы все имеющиеся в городе штанги, поэтому глубже буровую нельзя было прочистить). Обсадные трубы были прочищены до этой же глубины стальными щетками. Как чистка буровой скважины Нефедьева в 1922 г., так и моя в 1924 г. не дали увеличения дебита по вполне понятной причине: в пределах очищенной части скважины она не засорена, причина падения дебита — порча фильтра; очевидно, медная сетка от действия сероводорода покрыта сернистой медью и сернистым железом, а также мелким песком из водоносного горизонта, постепенно высасываемым насосом.

При выработке мероприятий по восстановлению дебита буровой скважины решающим являлось следующее: недостаток средств курорта, спешность работы и необходимость закончить ее к началу сезона.

Так как старую буровую скважину исправить было невозможно, я предложил провести новую в заведомо тех же геологических и гидрогеологических условиях. Буровая была поставлена в 6 м от первой, перпендикулярно к Черноморской улице, в сторону, противоположную туннелю из механического отделения в ванное здание.

В апреле 1926 г. бурение этой скважины было закончено А. И. Чернышевым при моей консультации. Глубина буровой от поверхности земли 104.25 м. Обсадные трубы 20.3 см (8″) спущены до глубины 51.2 м, трубы 15.2 см (6″) спущены до забоя, а потом приподняты для установки фильтра. На дно скважины спущена фильтровая колонна 12.7 см (5″) общей длиной 25.7 м. Фильтр соединен с обсадной эксплоатационной колонной 15.2 см диаметром при помощи сальника обычной конструкции из промасленной плетеной пеньки и снабжен вырезом для ключа, служащего для подъема и спуска фильтровой колонны. Эта колонна состоит из нижней глухой трубы с башмаком 1.26 м длиной, из дырчатой колонны 21.44 м длиной, обтянутой медной фильтровой сеткой № 6, концы которой припаяны оловом к сетке, и верхнего конца — глухой трубы длиной 3.01 м с пояском для сальника и вырезкой для ключа.

Буровой скважиной были встречены следующие породы, определенные мною и Н. П. Яхонтовым (см. разрез). При сравнивании этого разреза с разрезом буровой № 1 видно, что в общем они совпадают.

Первый водоносный горизонт был встречен на глубине 12.80 м. Он находится на контакте известковых светлокоричневых глин (лёссовидных) с светложелтыми глинами (лиманными). По анализу Е. М. Губаревой из Новочеркасского гидрохимического института состав этой воды следующий: сухой остаток 1.4522, хлор 0.5455, ангидрид серной кислоты 0.0760, окись кальция 0.1257, окись магния 0.0699, реакция щелочная, вода почти бесцветная.

Второй водоносный горизонт встречен на глубине от 35.66 до 37.34 м. Статический уровень 12.80 м (совпадение с уровнем первого водоносного горизонта заставляет предполагать плохую его изоляцию). По анализу Е. М. Губаревой состав воды следующий: сухой остаток 2.4675, хлор 0.3612, серный ангидрид 0.8328, окись кальция 0.3179, окись магния 0.1708. На глубине 76.81 м зарегистрирована вода, пахнущая сероводородом. С 75.59 и до 97.84 м буровой скважиной пересечены кварцевые пески, затем идет глина 0.15 м, снова песок 5.49 м, потом серо-зеленая глина. В этих песках заключается вода, причем минерализация воды и количество сероводорода увеличиваются книзу. Пробы воды были взяты на разных глубинах и анализ их (Е. М. Губаревой) дал результаты, приведенные в табл. 4.

29 апреля было определено содержание сероводорода в воде в 48 мг. Пробная откачка в продолжение $2^1/_2$ суток компрессором при понижении уровня на 0.5 м давала в среднем до 7 тыс. л. Для удобства эксплоатации верхняя часть буровой скважины заменена колодцем 11 м глубиной, 2 м диаметром, закрепленным деревянным срубом.

После окончания буровой скважины и начала ее эксплоатации был сделан анализ воды 10 мая 1927 г. Э. Э. Карстенс (табл. 5 и 6). При взятии пробы температура воды была 11.8° С, дебит при откачивании 360 тыс. л в сутки (откачка производилась не непрерывно).

После проведения буровой скважины № 2 мною была сделана попытка привести в порядок старую буровую. Были выполнены промывка буровой скважины и чистка стенок по тому же способу, как это делалось раньше, и буровая оказалась чистой до дна, но достать фильтр или поднять трубы не удалось. Поэтому в целях защиты водоносного горизонта от загрязнения через эту неэксплоатирующуюся буровую было решено ее ликвидировать. Она была забита жирной глиной, а сверху зацементирована.

Разрез буровой № 2

№ п.п.	Характеристика породы	Глубина от поверхности, м: от	Глубина от поверхности, м: до	Мощность, м
1	Чернозем, содержащий небольшое количество углекислых соединений (слабо вскипает) .	0	1.22	1.22
2	Сильно известковистая глина светлокоричневая пластичная, без грубых включений, но со скоплением известковистого вещества в виде неправильных прослоек и линзочек	1.22	11.89	10.67
3	Желтая глина сильно известковистая без песка, слоистая, вполне однородная	11.89	14.33	2.44
	Вода встречена на	12.80		
4	Светложелтая, сероватая сильно известковистая однородная глина	14.33	15.85	1.52
5	Зеленовато-серая с бурыми прослойками глина однородная, пластичная, со значительным количеством карбонатов	15.85	20.42	4.57
6	Желто-бурая глина со значительным количеством кварцевых песчинок, углекислых соединений и остатков литотамний	20.42	20.88	0.46
7	Известковистая глина зеленовато-желтого цвета, при смачивании более зеленая. Песка нет, пластичность высокая, углекислых соединений значительное количество	20.88	21.64	0.76
8	Сильно известковистая глина серого цвета с прослойками и прожилками желтовато-бурых песчано-глинистых масс	21.64	25.60	3.96
9	Мелкозернистый песок грязно-желтого цвета. Величина зерна от 0.6 до 0.01 мм и даже меньше. Значительная примесь глинистых частиц. Многие зерна с рябой поверхностью окрашены в буро-желтый цвет. Остальные зерна бесцветны, причем более крупные совершенно окатаны. Зерна исключительно кварцевые, с единичными темными зернами, повидимому, водной окиси железа	25.60	28.04	2.44
10	Конгломерат с галькой, величиной до 6 см, сцементированной известковистой глиной. Зерна конгломерата представляют кремневый и известковый гравий 0.5—1.0 см с промежутками, заполненными мелким кварцевым песком и стяжениями бурого железняка	28.04	30.18	2.14
11	Желтый мелкозернистый песок, равномернозернистый, содержащий изредка комочки глинистого вещества с известью и мелкие сильно окатанные обломочки раковин моллюсков . . .	30.18	32.92	2.74
12	Песок не вполне равнозернистый, приблизительно в равных количествах зерна 0.08 и 0.5 мм. Кроме того, в песке изредка попадаются малоокатанные гальки кварца, известняка и бурого железняка размером 1—2 см, иногда меньше. Присутствует заметное количество мелких обломочков раковин пластинчатожаберных. Незначительное количество пылеватых частиц	32.92	35.66	2.74
13	Песчаник в виде конгломерата из кварцевого песка и кварцевых мелких (0.5 см) галек с известковым цементом. Иногда встречаются стяжения равномерного мелкозернистого песчаника, твердого и прочного, тоже с известковым цементом	35.66	35.81	0.15

(*Продолжение*)

№ п.п.	Характеристика породы	Глубина от поверхности, м: от	до	Мощность, м
	На глубине 35.66 м встречен сильный водоносный горизонт с статическим уровнем 12.80 м	35.66		
14	Чисто кварцевый песок сероватого цвета. Некоторые, большей частью крупные, зерна с вытравленной поверхностью и иногда окрашены в бурый цвет. Зерна неравномерной величины присутствуют более или менее в одинаковой пропорции. Зерна от 0.5 до 0.05—0.04 мм совершенно окатаны; более мелкие зерна до 0.01 мм являются осколками. Изредка попадаются частицы черного непрозрачного твердого минерала в угловатых зернах. Пыли и глинистых частиц нет	35.81	37.34	1.53
15	Серый крепкий песчаник в виде стяжений с большим количеством карбонатов и песчанистый известняк, плотный, очень прочный, тоже в виде стяжений причудливой формы, носящий на себе, повидимому, следы растворения. В некоторых кусках находится значительное количество обломков и целых раковин *Pisidium, Dreissensia, Unio*. Кроме того, встречено большое количество самостоятельных обломков крупных толстостенных раковин *(Congeria)*	37.34	51.51	14.17
16	Песок темносерого цвета с кусками сцементированного песка, которые в воде рассыпаются. Значительное количество глинистых частиц. Песок кварцевый, зерна довольно равномерны, со средней величиной 0.02—0.1 мм. Более крупные зерна очень редки. Зерна угловатые, малоокатанные, с разъеденной поверхностью. Присутствуют заметные невооруженным глазом мелкие черные частицы непрозрачного минерала . . .	51.51	52.73	1.22
17	Светлосерый кварцевый песок очень тонкозернистый со значительным количеством пылеватых частиц, но не глинистых (не пластичных). Извести нет	52.73	57.30	4.57
18	Чистый кварцевый песок равнозернистый, величина зерен в среднем 0.4 мм. Изредка попадаются черные крупинки известняка. Черный цвет крупинок обусловлен мельчайшими частицами, повидимому, углистого вещества	57.30	67.67	10.37
19	Чистый кварцевый песок сероватого цвета. Зерна неравномерной величины—60% зерен от 0.05 до 0.5 мм. Зерен от 0.5 до 3—3 5 мм. до 40%. Глинистых частиц нет. Зерна больше 0.05 мм, сильно окатаны. Зерна меньшей величины имеют угловатую форму	67.67	75.59	7.92
20	Чистый кварцевый песок мелкий, в главной массе средней величины зерен от 0.1 до 0.3 мм, довольно равномернозернистый.	75.59	90.83	15.24
	На глубине 76.81 м как песок, так и вода имели сильный запах сероводорода. Статический уровень воды 54.86 м	76.81		

(*Продолжение*)

№ п.п.	Характеристика породы	Глубина от поверхности, м: от	до	Мощность, м
21	Такой же песок, но более сероватый по цвету	90.83	96.93	6.10
22	Кварцевый песок неравномернозернистый, зерен меньше 0.5 мм 50%, от 0.5 до 1.0 мм 25%, крупнее 1 мм и до 6—7 мм около 25%. Кроме того, присутствуют песчано-глинистые стяжения и стяжения с кварцевыми зернами, причем пирит служит цементом	96.93	97.84	0.91
23	Песчанистая глина серого цвета. Карбонатов нет, однородная без грубых включений	97.84	97.99	0.15
24	Серый песок с очень незначительным количеством глинистой пыли (иловатых частиц). Весь ил отмывается в небольшом количестве при первом же взбалтывании	97.99	103.48	5.49
25	Серо-зеленая илистая глина	103.48	103.68	0.20

Таблица 4

Химические анализы вод буровой № 2

Глубина пробы, м	Цвет	Реакция	Сухой остаток	Cl	SO_3	CaO	MgO
68.28	Желтоватый	Явственно щелочная	1.9555	0.5195	0.3113	0.2065	0.1077
85.34	»	То же	1.9315	0.4925	0.3248	0.2206	0.1070
89.61	»	» »	1.7841	0.4034	0.3648	0.2135	0.1034
96.01	»	» »	4.2807	1.9627	0.1295	0.2809	0.1797
98.15—100.28	»	» »	4.9158	2.4433	0.1039	0.3229	0.2043
103.17	»	» »	5.6925	2.8419	0.1150	0.3511	0.2346
103.63	»	» »	7.2658	3.8500	0.0671	0.3996	0.2885

В сентябре 1928 г. я был снова в Ейске и удостоверился, что буровая скважина три года работала безукоризненно. Откачка производилась в течение пяти летних месяцев в году и в разгар сезона давала до 500—550 тыс. л в сутки.

Колодец над устьем буровой № 2 был соединен с колодцем буровой № 1 подземной галереей, что позволяет пользоваться при эксплоатации построенным старым колодцем.

В 1930 г. появились симптомы порчи буровой № 2, выразившиеся в понижении ее уровня и, повидимому, в уменьшении дебита. Весной этого года я снова осмотрел буровую и в своем заключении от 10 марта указал, что причина уменьшения дебита — порча фильтра и что поэтому его необходимо вынуть, осмотреть и прочистить, а буровую промыть. Кроме этой причины, возможно также и влияние эксплоатации новой буровой скважины на берегу Ейского лимана (служащей для водоснабжения города). Поэтому необходимо поставить параллельные наблюдения за откачкой этой буровой и уровнем курортной буровой, так как буровая на берегу Ейского лимана получает воду из верхних частей того

Таблица 5

Анализ воды буровой № 2 в г. Ейске (на Черноморской ул.)

	г/л	милли-молей	мг-экв.	%-экв.
Катионы				
Иона лития (Li)	0.0002	0.02	0.02	
Иона калия (K·)	0.0098	0.25	0.25	0.03
» натрия (Na·)	1.1611	50.37	50.37	0.37
» кальция (Ca··)	0.1921	4.80	9.60	73.76
» магния (Mg··)	0.0980	4.02	8.05	14.06
Сумма	—	—	68.29	100%
Анионы				
Иона хлора (Cl′)	2.0532	57.92	57.92	84.86
» брома (Br′)	0.0025	0.03	0.03	0.04
» иода (J′)	0.0004	0.003	0.003	0.005
» сульфата (SO''_4)	0.0819	0.85	1.70	2.49
» гидрофосфата (HPO''_4)	0.0008	0.003	0.007	0.01
» гидрокарбоната (HCO'_3)	0.5077	8.32	8.32	12.19
» гидросульфида (HS′)	0.0056	0.17	0.17	0.25
» тиосульфата (S_2O_3'')	0.0061	0.05	0.11	0.16
Сумма	—	—	68.25	100%
Метакремневой кислоты (H_2SiO_3)	0.0161	—	—	—
Углекислоты свободной (CO_2)	0.0860	—	—	—
Сероводорода свободного (H_2S)	0.0438	—	—	—
» полусвязанного	0.0057	—	—	—
Азота свободного (N_2)	0.0290	—	—	—
Метана (CH_4)	0.0036	—	—	—
Алюминия (Al)	Следы	—	—	—
Железа (Fe)				
Марганца (Mn)				
Меди (Cu)				
Аммиака (NH_4)				
Мышьяка (As)				
Органического вещества				
Сумма твердых составных частей	4.1376	—	—	—
Сумма всех составных частей	4.8000	—	—	—

Формула Пальмера . . . . . S′ 74.2 S 13.2 A″ 12.6

Формула Курлова . . . . . $M_{4.1}\ \frac{Cl_{81.9}\ HCO_{3\ 13.2}}{Na_{73.8}\ Ca_{14.1}\ Mg_{11.8}}\ H_2S$

же песчаного горизонта, нижние части которого питают курортную буровую. Выше было указано, что в этих песках по направлению книзу увеличиваются минерализация и содержание сероводорода. Это увеличение настолько значительно, что верхи песков могут эксплоатироваться для питьевых целей, а нижние слои водоносных песков — для бальнеологических целей. Так как эти воды разделяются в общем песчаном слое лишь тонким глинистым прослойком, возможность влияния эксплоатации одной буровой на другую не исключается, поэтому постановка режимных наблюдений необходима.

Таблица 6

Пересчет анализа в солевую форму

	г/л
Хлористого лития	0.0011
» калия (KCl)	0.0187
» натрия (NaCl)	2.9281
Бромистого » (NaBr)	0.0032
Иодистого » (NaJ)	0.0026
Сернистого » (NaHS)	0.0095
Серноватокислого натрия ($Na_2S_2O_3$)	0.0085
Хлористого кальция ($CaCl_2$)	0.4222
Сернокислого » ($CaSO_4$)	0.1161
Двууглекислого кальция ($Ca(HCO_3)_2$)	0.0223
Фосфорнокислого » ($Ca(HPO_4)_2$)	0.0005
Двууглекислого магния ($Mg(HCO_3)_2$)	0.5888
Кремневой кислоты (H_2SiO_3)	0.0161
Сумма твердых составных частей	4.1376
Свободной двуокиси углерода (CO_2)	0.0860
Свободного сероводорода (H_2S)	0.0438
Свободного азота (N_2)	0.0290
Метана (CH_4)	0.0036
Сумма составных частей	4.3000

Летом 1934 г. Г. П. Алферьев и И. И. Володкевич тоже объяснили уменьшение дебита буровой № 2 засорением фильтра и указали на необходимость прочистить буровую и, вероятно, заменить фильтр. Указали они также и на то, что для бесперебойной работы курорта было бы целесообразно иметь запасную буровую скважину. Место для буровой было намечено в 6—8 м от буровой № 2, по продолжению прямой линии между буровыми № 1 и № 2 (см. фиг. 3).

Буровая была закончена к 20 августа 1935 г. Конструкция скважины следующая: глубина 100.5 м, крепление 12″ трубами (30.5 см) до 50.3 м, 10″ трубами (25.4 см) до 63.4 м и 8″ трубами (20.3 см) до забоя. Буровая доведена до той же серо-зеленой глины, как и буровая № 2. В 8″ (20.3 см) колонку была спущена 6″ (15.2 см) фильтровая труба общей длиной 23.4 м, состоящая из нижней сплошной трубы 2.5 м длины с деревянной пробкой внизу, трех дырчатых труб общей длиной 15.13 м и верхней трубы сплошной 5.78 м длиной. В дырчатой части трубы было просверлено 2450 отверстий диаметром 15 мм. Эта часть трубы была закрыта медной луженой сеткой. После спуска фильтровой колонны с пеньковым сальником, 8″ обсадные трубы были подняты до глубины 81.9 м, 10″ колонна извлечена, а 12″ труба осталась.

В 1938—1939 гг. с этой третьей буровой скважиной случилось то же самое, что раньше было с первой и второй. Началось значительное падение уровня без заметного уменьшения дебита. Приглашенные представители Азово-Черноморского геологического управления инженеры П. А. Гончаров и П. Е. Кириченко дали следующее заключение:

«Наиболее вероятной причиной падения уровня при откачке следует считать износ рабочей части фильтра и заиливание скважины. При дальнейшей эксплоатации скважины № 2 и ее износе и вследствие отсутствия резервных каптажей минерального источника, при дальнейшем падении уровня при откачке, а следовательно, и дебита скважины, создается угрожающее положение в обеспечении курорта минеральной водой. В связи с этим считаем совершенно необходимым проведение следующих мероприятий.

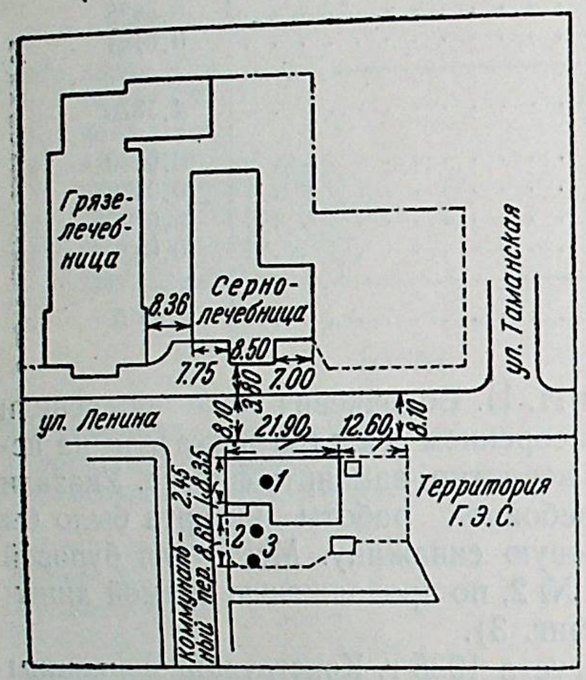
1) На территории существующих скважин (метрах в 5—6 от скважин № 2 и № 3) пробурить скважину № 4, глубиной порядка 100—105 м, оборудовать ее фильтром с алюминиевой сеткой и иметь эту скважину как резервный источник снабжения минеральной водой.

2) После того как будет пробурена резервная скважина № 4, переключить эксплоатацию и приступить к восстановлению рабочей части фильтра скважины № 3.

3) Вариант восстановления скважины № 2 считать менее целесообразным».

При рассмотрении вопроса о построении обсадной колонны и фильтра представители Геологического управления предложили обсудить целесообразность заложения в водоносных горизонтах колонны из асбестцементных труб и перехода в построении фильтра от типа сетчатого к типу гравийному.

Рассматривая весь приведенный материал по истории буровых скважин Ейского курорта, можно притти к следующим выводам.



Фиг. 3. Расположение буровых скважин № 1, 2, 3 в городе Ейске.

1. Основой дальнейшего развития курорта должно быть изучение и оконтуривание площади распространения сероводородной воды и изыскание наиболее удобных и выгодных точек получения минеральной воды как с гидрогеологической, так и с курортной точки зрения (геологическая и гидрогеологическая съемка и разведочные работы).

2. Одновременно должны быть исследованы очень мало изученные до настоящего времени грязевые озера района в отношении химического состава и физических свойств рапы и грязи, геологического строения района их расположения, подсчета запасов грязи, установления правильного грязевого хозяйства.

3. Обе существующие буровые скважины — вторая и третья — должны быть исправлены, вычищены и промыты. Фильтры необходимо вынуть и заменить новыми. Эта работа важна, главным образом, потому, что она совершенно точно выяснит, как происходили аналогичные аварии со всеми тремя буровыми. Эти сведения помогут точно установить необходимую конструкцию новых буровых скважин.

4. Разумеется, надо отказаться от металлических обсадных труб и металлических фильтров. Асбоцементные трубы для Ейской минеральной воды достаточно устойчивы. Фильтр должен быть гравийный.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Иностранцев. Тр. Пет. общ. испыт. природы, XXX, вып. 1, стр. 275—279, 1910.
2. Л. К. Конюшевский. Ейский курорт. Изд. Куб. отд. Общ. разв. русск. лечебн. местн., 1915.
3. Л. К. Конюшевский. Материалы по геологии Кавказа, IV, 3, 1915.
4. К. Ф. Синцов. Зап. Мин. общ., ч. 45, стр. 220—224, 1910.

Ф. А. МАКАРЕНКО

ГЕОТЕРМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

В местах выходов термальных источников района Кавказских минеральных вод (КМВ) уже давно были подмечены чрезвычайно высокие термические аномалии. Этот факт, явно свидетельствующий о тепловом влиянии терм на окружающие породы, обратил на себя внимание уже первых исследователей и в дальнейшем был широко использован в качестве руководящего поискового признака на минеральную воду [8, 9]. Определение температуры производилось путем опускания на забой скважин ленивого термометра с последующим отсчетом по шкале °R или °С. В результате длительного применения этого метода при разведке на минеральную воду накопился с течением времени интересный геотермический материал, позволяющий использовать его для более широких обобщений.

Региональное изучение тепловых условий недр района приобретает исключительный интерес, если учесть сложную химическую и газовую природу его многообразных лечебных вод, термальное разнообразие этих вод и геологическую историю района, несущего на себе мощные следы недавних вулканических проявлений Центрального Кавказа (Эльбруса). О сохранившейся до сего времени тепловой энергии внедрившихся магматических масс района, создавших здесь у подножья гиганта Эльбруса группу изолированных гор, свидетельствует обильное проявление вулканической углекислоты в источниках.

К сожалению, накопленный материал по геотермии района не позволяет нарисовать полную картину тепловых условий его ближайших глубин. Имеющиеся данные наблюдений характеризуют сравнительно небольшие курортные участки, где ранее сосредоточивалась вся гидрогеологическая разведка. На остальной площади района пробурены только две глубокие скважины: одна вблизи Машука, другая у Бештау. Поэтому нам придется ограничить свою задачу до приближенного освещения геотермических условий района, с недрами которых связано формирование ценнейших лечебных вод.

В статье использован весь доброкачественный фактический материал по геотермии района.

В общем, по Кисловодску собраны данные по 17 буровым точкам, с максимальной глубиной наблюдений в некоторых до 455 м. По Ессентукам пригодных материалов оказалось меньше. По Пятигорску собран материал температурных наблюдений по 26 скважинам, с максимальной глубиной замеров температуры 340 м. По Железноводску данные темпе-

ратурных наблюдений собраны по 40 буровым скважинам с глубиной измерения температуры в наиболее глубокой скважине 120 м.

В нашем распоряжении оказались также данные температурных наблюдений по структурной буровой скважине в Горячеводске (до 593 м) и по скважине № 32, пробуренной в 1940 г. вблизи железнодорожного разъезда «Золотушка» (между Ессентуками и Бештау) Сев.-Кавказским геологическим управлением на глубину до 502 м. По некоторым наиболее глубоким скважинам в последние два года проведены электротермометрические измерения, показавшие хорошую сходимость результатов с данными наблюдений обычным ленивым термометром.

Рассмотрим вкратце геологические и гидрогеологические условия района.

Описываемый район занимает северные предгорья Кавказа, образующие здесь обширное, наклоненное к северу плато между его передовыми хребтами и прикавказской степной равниной.

Наивысшей отметки плато в пределах района достигает на юге (Бермамыт). На севере высота местности опускается. В силу характера геологического строения плато расчленяется несколькими уступами, крутыми с южной и пологими с северной стороны, разделяющими местность на отдельные части. Эти уступы (куесты) сложены юрскими и меловыми осадочными породами. Главных уступов два: один, сложенный юрскими породами, проходит в общем кавказском направлении южнее Кисловодска и образует северные склоны долин Эшкакона, Хасаута и Малки; другой, параллельный первому, вздымается сейчас же севернее Кисловодска, образуя так называемые Джинальские и Дарьинские высоты. Второй уступ сложен меловыми породами. Далее к северу меловой уступ переходит в полого опускающиеся Предкавказские степи — однообразную равнину. Лишь в районе города Пятигорска равнинный рельеф этой местности усложняется группой остроконечных вулканических гор.

Весь этот район, начиная примерно от Хасаута, сложен мощной толщей юрских, меловых и третичных осадочных отложений, причем область выходов юрских и меловых отложений ограничивается на юге широтно вытянутой полосой площади между уступами. К югу от юрского уступа развиты преимущественно палеозойские и более древнего возраста породы, сильно метаморфизованные, прорванные разновозрастными интрузиями, а к северу от мелового уступа повсеместно распространены отложения третичного возраста. Исключение составляют лишь небольшие участки лакколитов, ядра которых сложены трахилипаритами («бештаунитами») и отчасти меловыми породами, выдвинутыми вместе с трахилипаритовой магмой с больших глубин.

В структурном отношении толща осадочных мезо-кайнозойских пород района образует единую крупную моноклиналь, полого падающую (под углом 7—8° на юге и 3—5° на севере) в Предкавказские степи. Субстратом для нее служат древние метаморфические породы, обнажающиеся на поверхности только на юге, на более высоких отметках. Прилагаемая структурная карта верхнего мела (фиг. 7 на 205 стр.) показывает, что моноклиналь имеет широкое поперечное вздутие, направленное в северо-восточном направлении — примерно от Эльбруса к лакколитам. В этом же направлении моноклиналь разбита глубокими тектоническими трещинами, генетически являющимися трещинами растяжения поперечного свода. На северо-восток и восток от лакколитов моноклиналь довольно

быстро погружается в Терскую тектоническую депрессию, а с северо-запада от них она, выполаживаясь до предела, сливается с так называемой Ставропольской платформенной зоной. С западной стороны прослеживаются элементы Невинномысской антиклинали, уходящей в Кубанскую тектоническую депрессию. Можно видеть из той же карты (фиг. 7), что внедрение магмы в осадочную толщу района произошло на стыке всех трех структурных элементов района, причем определенный порядок расположения лакколитов обусловлен, повидимому, влиянием на распределение магмы северо-восточных тектонических трещин, проходящих вдоль свода моноклинали, а также линией сочленения Кавминводского свода с Ставропольской плитой. Внедрение магмы датируется периодом времени между нижним олигоценом и апшероном.

В пределах описываемой части района разрез юрских отложений представлен только самым верхним своим горизонтом — лагунными песчано-глинистыми отложениями титона, причем севернее Кисловодска отсутствует в большинстве мест и титон; меловые породы здесь залегают непосредственно на древнем кристаллическом фундаменте.

Нижний мел представлен трещиноватыми известняками валанжина мощностью около 100—120 м, затем горизонтом известняков и глин готерива до 45 м мощности и, наконец, толщей сильно глинистых обычно известковистых песчаников баррема, апта и альба общей мощностью до 460 м и глинами альб-сеномана мощностью 45—50 м. Альбские глины обнажаются только в южных обрывах северного квестового уступа. Все эти породы, включая, повидимому, и валанжинские известняки, имеют повсеместное распространение в пределах северной описываемой части района, но здесь они прикрыты отложениями верхнего мела и затем, еще севернее, — третичным комплексом осадков.

Верхний мел представлен трещиноватыми толстослоистыми и тонкослоистыми известняками туронского, коньяк-сантонского и маастрихтского ярусов, причем в маастрихте преобладающее развитие получают мергели. Общая мощность верхнемеловых пород, включая датские слои, иногда здесь присутствующие, равна 350—400 м. Как указывалось, породы верхнего мела слагают Джинальские и Дарьинские высоты.

Третичный комплекс представлен свитой палеоценовых «ессентукских» мергелей мощностью до 100—110 м, затем аргиллитовой свитой тоже палеоценового возраста общей мощностью от 150 до 190 м, эоценовыми мергелями «оползневого горизонта» [2] мощностью до 80 м, мергелями с *Lyrolepis caucasica* мощностью 30—35 м, мергелями «кирмакильской» свиты [7] мощностью до 60 м и, наконец, огромной толщей глинистых стложений олигоцена (хадумские и майкопские слои), достигающих в полном разрезе до 1000 м мощности. В пределах района более верхние горизонты олигоценовых пород смыты. Молодые мио-плиоценовые отложения занимают лишь небольшие участки площади на северо-востоке района.

В силу указанного литологического состава и условий залегания осадочных пород моноклинали, водоносными среди них являются в основном только три горизонта: известняки валанжина, титонские лагунные отложения и известняки верхнего мела. Все другие породы обладают гораздо меньшей водоносностью. Практически неводоносными являются песчаники баррема и апта и олигоценовая толща мергелей и глин. Последние выполняют роль водоупора для подстилающих их отложений палеоцена, эоцена и верхнего мела. Подобную им роль

играют глинистые песчаники и глины апт-альба, разделяющие основные водоносные толщи — известняки валанжина и верхнего мела — на два самостоятельных горизонта подземных вод.

В пределах района эти горизонты образуют крупный артезианский бассейн. Площади выхода меловых пород на поверхность являются областями питания подземных вод бассейна. Там же формируется режим подземных вод меловых горизонтов, а напорный характер их обеспечивается высоким положением областей питания. В области распространения водоупорных третичных пород глубокие воды меловых горизонтов бассейна могут дренироваться только в тех местах, где эти горизонты прорваны магматическими ядрами лакколитов. Лакколиты, таким образом, являются своеобразными «отдушинами» или «окнами» дренирования глубоких напорных вод рассматриваемого района. Практически, за исключением лакколита горы Юца, расположенного к северу от Джинальской области питания верхнего мела и дренирующего пресную холодную воду, в пределах таких «отдушин» выходят только минеральные воды с высокой и повышенной температурой. В питании минеральных терм участвуют воды меловых водоносных горизонтов, воды титона и, в меньшей мере, воды остальных комплексов. Обмен глубоких вод района замедлен, — это обусловлено тем, что расходы термальных источников, по сравнению с постоянными запасами вод в толщах бассейна, крайне незначительны. Относительно заметным движением они обладают лишь у лакколитов, т. е. там, где происходит дренирование вод, а также вблизи лакколитов — по северо-восточным трещинам растяжения. С этими же трещинами и с локальными трещинами прорывов в осадочные и кристаллические породы молодых пятигорских магм связан подъем огромных количеств углекислого газа, который насыщает воды почти всех минеральных источников района. Характерно, что проявление углекислоты наблюдается только вдоль сводовой части поперечного поднятия моноклинали и при этом более или менее повсеместно вдоль свода, начиная от вулканического Эльбруса и вплоть до лакколитов. С трещинами свода связывается и формирование минеральных вод данной страны. Таковы в общем структурные и гидрогеологические особенности Кавминводского района.

Использованные в статье данные температурных наблюдений характеризуют, главным образом, тепловые условия известняков верхнего мела и породы третичного комплекса. Валанжин характеризуется материалами кисловодских скважин.

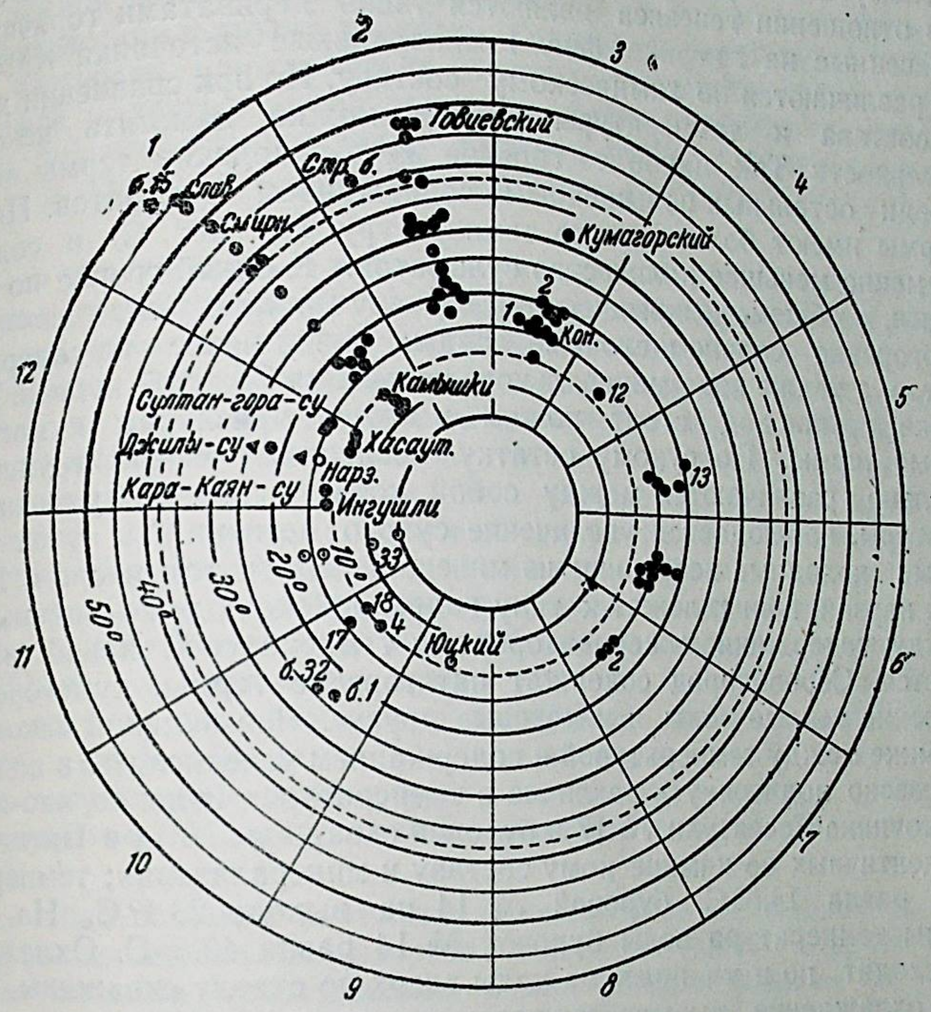
Материалы по Пятигорску и Железноводску отражают преимущественно тепловые условия мергелей и глин палеоцена, которые облекают со всех сторон магматические ядра лакколитов и меловые известняки. Структурная буровая в Горячеводске и буровая № 32 вблизи разъезда «Золотушка», затем глубокие буровые в Ессентуках и буровая на Юце позволяют судить о тепловых условиях меловой и третичной толщи.

Перейдем к существу рассматриваемого вопроса, причем ознакомимся сначала с температурами вод источников.

Среди терм Кавказских минеральных вод наибольшая максимальная температура воды наблюдается в Железноводске — 56° С (Славяновский источник) и наименьшая на лакколите Развалка — 5.5° С (Развалкинский пресный родник). Первая из них превышает на 46.8° С среднегодовую температуру воздуха в Железноводске, а вторая находится на 4.4° С ниже среднегодовой температуры воздуха. Крайне интересно, что эти

противоположности расположены на смежных лакколитах, связанных между собой одним магматическим ядром.

Для иллюстрации приводим диаграмму температур минеральных и некоторых пресных источников района, на которой дана классификация источников по температурному признаку (фиг. 1).



Фиг. 1. Диаграмма температур минеральных источников района Кавказских минеральных вод.

1 — Железная; *2* — Машук; *3* — Кокуртлы; *4* — Медовая; *5* — Бык-гора; *6* — Верблюд; *7* — Золотой курган; *8* — Джинал; *9* — Юца; *10* — Ессентуки; *11* — Развалка; *12* — Нарзан и др. источники; *13* ● — минеральные источники; *14* ⊙ — пресные источники; *15* · · · — граница холодных и теплых вод (температура нейтрального слоя); *16* - - - — граница теплых и горячих вод.

Диаграмма показывает, что самые высокие температуры в источниках наблюдаются на склонах горы Железной, затем идут термы лакколита Машук (Пятигорские); третье место по температурам занимают термы лакколита Кокуртлы (Кумогорск), четвертое — минеральные источники лакколита Золотой курган, Кисловодский нарзан и Ессентуки № 17. Юцкий пресный родник занимает предпоследнее место и Развалкинский, также наиболее холодный пресный родник, — последнее. На этой же диаграмме нанесены температуры углекислых вод глубоких буровых скважин в Ессентуках. Как видим, температура вод этих скважин превышает температуру воды Быкогорских источников и приближается к температуре Кумогорского источника.

Приведенные данные показывают, что минеральные воды лакколитов Пятигорья имеют самые различные температуры. Однако, было бы

преждевременно судить о температурном состоянии недр каждой группы источников только на основании формального рассмотрения их температур. Мы видим, что в том же Железноводске многие термы имеют температуру ниже некоторых источников других лакколитов. Вместе с тем, по химическому составу все железноводские термы принадлежат к одному типу и в отношении генезиса являются лишь дериватами горячих вод.

Нанесенные на графике фиг. 1 минеральные источники КМВ еще больше различаются по химическому составу. Но при сравнении химического состава и температуры их вод можно наметить некоторые закономерности. Так, наиболее горячие железноводские термы выделяются среди остальных повышенным содержанием сульфатов. Пятигорские термы имеют более низкую температуру (до 50° С) и содержат одновременно меньшее количество сульфатов. К одной группе по температурам и, в общем, по химическому составу принадлежат ессентукские и быкогорские соляно-щелочные воды, почти вовсе не содержащие сульфатов, а также вода минерального источника Золотой курган. Близко к этой же группе вод стоят по тем и другим признакам кумогорские щелочные термы. По сухому остатку последние четыре группы вод значительно различаются между собой, хотя и здесь, с уменьшением температуры, наблюдается увеличение сухого остатка.

Самые холодные источники из минеральных, в том числе и Кисловодский нарзан, принадлежат к типу гидрокарбонатных кальциевых вод.

Между содержанием сероводорода и температурой явной связи не намечается. Сероводород содержат пятигорские термы, кумогорские и быкогорские теплые воды и некоторые другие. Нет никакой закономерности также между температурой и содержанием углекислоты в воде.

Интересно подчеркнуть различие в температурах воды соляно-щелочного источника Ессентуки № 17 и буровой скважины № 14 в Пятигорске, почти идентичных по химическому составу и минерализации; температура первого равна 14.5° С, буровой № 14 на выходе 23.4° С. На забое скважины температура воды буровой № 14 равна 40.6° С. Охлаждение ее происходит по пути подъема воды вверх по стволу скважины. Такое быстрое охлаждение вызывается здесь медленным восходящим движением воды ввиду малого дебита источника (1000 л/сутки) и большего пути, проходимого водой от забоя (340 м). Также, видимо, охлаждением вод следует объяснять и пониженную температуру воды Ессентукского источника № 17, что позволяет судить и о генезисе последнего, имея одновременно в виду, что вода соляно-щелочного источника № 14 в Пятигорске является измененным в мергелях ессентукской свиты дериватом основных горячих терм Пятигорска. Однако более подробное сопоставление химического состава минеральных вод района не входит в задачу настоящего очерка. Эти данные приведены лишь для того, чтобы сделать следующие выводы геотермического порядка.

1. Наиболее высокие температуры восходящих минеральных вод наблюдаются непосредственно у вулканических структур района на лакколитах, при этом на разных лакколитах температура вод разная.

2. Между газопроявлениями и температурами вод не намечается какой-либо прямой зависимости.

3. Намечается некоторая закономерная, хотя и неповсеместная зависимость между температурами и солевым составом вод источников.

Подойдем к рассмотрению данных по температурам в буровых скважинах района.

Как известно, тепловой эффект земной коры создается, с одной стороны, за счет поглощения ею солнечной лучистой энергии, которая проникает только на небольшую глубину, с другой — под влиянием внутренних источников тепла, находящихся или возникающих как в земной коре, так и в более глубоких сферах земли. Источниками тепловой энергии земной коры являются происходящие в ней всякого рода химические, физические и другие процессы. Такими источниками тепла могут быть, в частности, плутонические породы, окисление руд, каменных углей, нефти и других органических веществ, гидратация минералов, процессы полимеризации, тепло тектонического трения, восходящие воды и т. д. Природа тепла более глубоких недр земли пока не выяснена.

Так как перечисленные выше внутренние источники тепла распределяются под земной поверхностью крайне неравномерно, геотермические условия отдельных ее частей отличаются, естественно, значительным разнообразием. Это обусловливается также многими чисто внешними причинами, в том числе теплоемкостью и теплопроводностью пород. Минералогический состав пород, внутренняя их структура, трещиноватость и направленность трещин, тот или другой наклон пластов, их обводненность или степень увлажнения, перемежаемость пачек пластов с различной теплоемкостью и теплопроводностью — вот, примерно, те основные внешние факторы, которые вместе с внутренними очагами тепла определяют конкретный тепловой баланс каждого участка земной коры. Сюда же, наконец, нужно отнести охлаждающее влияние крупных текучих вод. Поэтому, несмотря на общее возрастание температуры с глубиной, давно уже доказанное опытом горного дела, скорость нарастания температуры на единицу длины углубления характеризуется в разных местах самыми различными величинами [4, 5, 15].

Само собой разумеется, что еще более сложно распределяется в земной коре солнечная тепловая энергия. Однако, в связи с тем, что породы являются плохими проводниками тепла, распространение ее вглубь быстро убывает. По данным наблюдений в СССР, в Западной Европе, в Америке и в других странах, слой, в котором наблюдается практически полное затухание годовых колебаний солнечной температуры, лежит повсюду на глубине не ниже 20—35 м [4, 14, 16]. Так, в пределах Средней Европы и Европейской части СССР этот слой, называемый поясом постоянной температуры или нейтральным слоем, находится обычно на глубинах от 20 до 25 м [5, 6, 9].

Глубже этого слоя термические аномалии обусловлены притоком тепла снизу.

Следует подчеркнуть, что количество солнечной энергии, попадающее в верхние слои земли, превышает, в обычных условиях, более чем в 1000 раз количество той теплоты, которая излучается в атмосферу недрами. Следовательно, несмотря на небольшую глубину ее проникновения, она должна учитываться при экстраполяции данных температурных наблюдений и в глубоких слоях земли.

В этом отношении достаточно определить глубину нейтрального слоя для каждого пункта наблюдений, а также нормальную его температуру, чтобы затем, сличив последнюю с температурой, фактически наблюдавшейся на этой глубине, судить об аномалии пункта, вызванной

внутренним теплом земли, или внести соответствующую поправку на температуру этой глубины для вычисления геотермической ступени.

В пределах района КМВ нет, к сожалению, ни одного пункта, где бы прямым или косвенным путем была точно определена глубина и температура нейтрального слоя. Все же в 1919—1921 гг. такая попытка была сделана Пятигорским Бальнеологическим институтом (А. Н. Огильви), которым на юго-западном склоне Машука, примерно в 2 км от главных нарушений Машукского сброса, был заложен ряд скважин для этой цели и регулярно проводились в них наблюдения за температурой на разных глубинах. Однако все скважины не дошли до слоя постоянной температуры, в связи с чем прямым путем определить искомые константы не удалось. Пункт наблюдений, кроме того, был выбран не совсем удачно — вблизи активного теплового влияния термальных вод Машука, что, возможно, отразилось и на термическом режиме грунтов участка наблюдений. Все же собранный здесь материал весьма интересен и позволил нам приближенно вычислить глубину нейтрального слоя для данного места и его температуру. Конечно, перенести вычисленные константы этого пункта наблюдений на другие участки района мы не имели оснований; необходимо было учитывать не только возможное влияние местного теплового очага, но и заведомо отличные, неизвестные нам константы теплопроводности и теплоемкости грунтов на других участках района, в зависимости от которых глубина нейтрального слоя может быть другая даже в соседних местах. Замеры температур в скважинах Пятигорской геотермической станции проводились с ноября 1919 г. по август 1921 г.

Данные наблюдений этой станции приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ бур. скважины	Глубина, в м	Температура, в °С		Амплитуда колебаний
		макс.	мин.	
1	0.53	22.5	0.5	23.0
2	1.07	19.5	3.0	16.5
3	2.13	15.5	6.5	9.0
4	3.31	14.2	8.2	6.0
5	4.50	12.5	9.0	3.5
6	5.59	12.2	10.2	2.0
7	6.51	11.5	10.6	0.9

Из табл. 1 видно, что в Пятигорске уже на глубине 6.51 м амплитуда годовых колебаний температур не достигает 1.0° С.

Пользуясь законом Фурье, мы приближенно вычислили постоянную температуру и глубину нейтрального слоя в данном пункте. На самом деле вычисления останавливаться не будем, так как он подробно описан А. Н. Огильви [9]. В результате вычисления получили глубину нейтрального слоя 13—14 м и температуру 9.8° С. Вероятно, при удалении от Машука глубина слоя несколько увеличится и, наоборот, уменьшится вблизи выходов термальных вод на Машуке. Аналогичные

[1] На Сенной улице г. Пятигорска.

термические условия должны быть в Железноводске, вблизи мест циркуляции термальных вод.

На участках, удаленных от местных очагов прогрева пород, глубина слоя постоянной температуры опускается, вероятно, до 20—25 м, но не ниже, если проводить аналогию с другими районами.

Такими «ближайшими» районами к КМВ являются только районы: Боржоми, где глубина нейтрального слоя приблизительно равна 23 м, затем Одессы, где нейтральный слой лежит на глубине 20 м, и Харькова, где глубина слоя постоянной температуры равна 20 м [3, 6, 9, 10]. Как известно, в южных широтах глубина слоя постоянной температуры уменьшается и наиболее близко подходит к поверхности в экваториальных странах. В таком случае ближе к району КМВ должна быть глубина нейтрального слоя в Одессе и Боржоми.

Все же в целях надежной экстраполяции данных по температурам более глубоких слоев следует в среднем для района взять глубину нейтрального слоя несколько большей — равной 30 м.

Температура нейтрального слоя отвечает, по данным исследований в других районах и странах, примерно среднегодовой температуре поверхности почвы [5, 6, 10]. Среднегодовая температура почвы лишь на немного выше среднегодовой температуры воздуха. Для горных областей исследователь Кенингсбергер [3, 4] рекомендует пользоваться следующими поправками на температуру почвы в зависимости от температуры воздуха.

Абс. высота над ур. моря, в м	Поправка на t почвы, в °С
500	1.0
1 000	1.3
1 500	2.3
2 000	3.0

С учетом поправок Кенингсбергера для Кисловодска, Ессентуков, Пятигорска и Железноводска можно приближенно принять следующие нормальные температуры для глубины нейтрального слоя (табл. 2).

Таблица 2

Пункты наблюдения	Среднегод. температура воздуха, в °С	Температура нейтрального слоя, в °С
Кисловодск	7.8	9.0
Ессентуки	8.1	9.1
Железноводск	8.4	9.4
Пятигорск	8.8	9.8

Вычисленная для Пятигорска температура нейтрального слоя, по наблюдениям в буровых, отвечает, как видим, среднегодовой температуре почвы в Пятигорске, вычисленной по среднегодовой воздуха, с поправкой на высоту местности.

Сравнивая вычисленные температуры нейтрального слоя с фактическими наблюдавшимися температурами на этой глубине, или, иначе говоря, делая термический срез на глубине нейтрального слоя, приходим сразу же к интересным результатам. Так, начиная обзор с Кисловодска, можно видеть из табл. 3, что во всех скважинах Кисловодского района, заложенных в разное время, вблизи каптажа Нарзана наблюдаются на срезе 30 м довольно высокие термические аномалии, прослеживаемые в большинстве точек наблюдений. Отклонения достигают 8° С.

Вокруг Нарзана, стало быть, существует явный термический фокус, элементы которого были подмечены уже давно А. Н. Огильви [8]. Существование такого фокуса у нарзанного колодца свидетельствует о прогревании пород этого участка восходящими тепловыми токами. Термический фокус несколько вытягивается с юго-запада на северо-восток и представляется как бы вполне продолговатым овалом, длинная ось которого проходит через каптажный колодец. Отмечается при этом, что скважины, заложенные вблизи нарзанного колодца, имеют наиболее резко выраженную термическую аномалию и, наоборот, заложенные дальше от каптажа показывают на глубине 30 м и меньшие отклонения. Скважины № 14, 15, 16 и 17, пробуренные в 1938—1940 гг., уже сравнительно далеко от каптажа Нарзана, на расстоянии от 1.9 до 2.5 км и в разные стороны от него, показывают совсем низкие температуры, близкие к нормальной температуре нейтрального слоя. Особняком стоят скважины № 10, 11, 12, находящиеся вблизи каптажа. Термальные аномалии в них хотя и существуют, но не являются столь резкими, как в других скважинах, заложенных дальше от каптажного колодца.

Эти данные позволяют сделать очень важные выводы по гидрогеологии Нарзана. Однако на них мы остановимся подробнее несколько ниже.

В Пятигорске на глубине 30 м положительные термические аномалии достигают по некоторым буровым скважинам 25° С, а если учесть температуру пород в Товиевской штольне, то не менее 40° С. Здесь, в связи с более сложной структурой месторождения, сложнее выглядит и распределение термических аномалий. По всем данным, температуры увеличиваются в сторону главных нарушений, огибающих полукольцом южную часть тектонического купола. Максимальные отклонения прослеживаются непосредственно вдоль тектонических трещин с горячей минеральной водой и вдоль потоков термальных вод, циркулирующих в травертинах южного склона. Здесь, так же как и в Кисловодске, температуры убывают при удалении от вершины и тектонических трещин Машука. Намечается, стало быть, определенная зависимость падения температуры при удалении от тепловых центров. В табл. 4 приведены некоторые зависимости между температурами буровых скважин и расстояниями их от центров нагрева.

Особенно высокие термические аномалии наблюдаются на глубине 30 м и 15 м в Железноводске (табл. 5). В пределах расположения высокотермальных источников этого месторождения минеральных вод в буровых скважинах, пробуренных в целях разведки минеральной воды в 1912—1926 гг. Н. Н. Славяновым [12], наблюдались на глубине 30—45 м аномалии от 11.6 до 44.8° С. В Железноводске мы имеем, следовательно, самый высокий в районе термический фокус. К сожалению, мы не можем конкретно осветить термические условия нейтрального

Таблица 3

Температуры на глубине нейтрального слоя в буровых скважинах района КМВ и отклонения от нормы (глубина нейтр. слоя 30 м; температура нейтр. слоя: Кисловодск 9.0° С, Ессентуки 9.0° С, Железноводск 9.4° С, Пятигорск 9.8° С)

№ бур. скважины и ее местонахождение	Глубина замеров, в м	Замеренная температура, в ° С	Отклонения от норм. температуры, в ° С
1	2	3	4
Кисловодск			
1	29.88	16.85	7.8
2	30.46	17.15	8.1
3	26.84	16.45	7.4
4	28.37	16.18	7.8
5	28.75	16.15	7.5
6	30.19	17.0	8.0
7	25.90	17.0	8.0
8	30.87	16.2	7.2
9	29.46	15.0	6.0
10	29.48	13.6	4.6
11	72.00	12.0	—
12	97.04	12.6	—
13	29.57	15.8	4.8
15	21.89	10.5	1.5
16	66.46	10.6	—
17	73.86	9.6	—
Пятигорск			
1 (Перкальская)	27.5	15.0	5.2
»	33.8	15.4	5.6
14	27.5	27.4	17.6
15	30.0	21.0	11.2
74	31.84	20.7	10.9
68	30.5	15.9	6.1
7 (тепл. Нарзан)	30.0	25.0	15.2
2 (холодн. Нарзан)	22.27	22.2	14.4
Красноармейск. 1	—	—	—
2	—	—	—
3	—	—	—
72	29.93	15.7	5.9
73	30.09	11.5	1.7
71	31.63	11.8	2.0
Структурная	30.39	13.6	3.8
191	13.15	35.6	25.8
191	48.02	40.4	—
231	9.81	28.8	19.0
114	20.17	29.6	19.8
236	3.22	25.4	—
Железноводск			
7	30.0	37.3	27.9
5	29.9	21.0	11.6
3	23.3	20.6	11.6

Таблица 3 (*Продолжение*)

№ бур. скважины и ее местонахождение	Глубина замеров, в м	Замеренная температура, в °С	Отклонения от норм. температуры, в °С
1	2	3	4
105	23.2	24.7	15.3
22	22.4	24.7	15.3
32	32.0	43.2	33.8
13	29.9	46.2	36.8
27	40.0	54.0	34.6
19	31.0	35.0	25.6
40	30.0	34.2	24.8
24	30.0	38.8	29.4
30	32.2	43.0	33.6
14	28.6	36.6	27.4
2	31.0	5.5	45.6
1	35.0	54.6	45.2
31	35.0	50.3	40.9
49	28.0	48.7	39.3
29	26.8	41.6	32.2
104	26.0	42.6	33.2
17	32.4	40.0	30.6
19	31.1	35.0	25.6
Сухие			
62	29.15	15.0	5.6
53	28.1	18.4	9.0
52	26.4	20.5	11.1
94	28.8	18.1	8.7

слоя в районах Ессентуков, Кумогорска, Быкогорска и некоторых других, где имеются выходы минеральных источников. Однако, имея в виду повышенные температуры восходящих минеральных источников в перечисленных местах, следует считать, что в этих местах на среднем 30 м существуют термические аномалии.

Наоборот, на лакколите Юца нет оснований ожидать повышенных термических условий. Об этом говорит низкая температура Юцкого восходящего источника, питающегося пресными водами верхнемелового артезианского бассейна. Температура Юцкого источника равна 9.0° С и приближается к нормальной температуре нейтрального слоя данного района.

В пределах района устанавливается, таким образом, ряд термических очагов, тепловой баланс которых обеспечивается постоянным притоком тепла снизу.

Так как все участки термических аномалий связаны с местами выхода восходящих минеральных вод, понятно, что непосредственной причиной появления на них аномалий являются восходящие воды.

Перейдем к анализу температур глубоких слоев горных пород района.

Итак, в районе КМВ годовые колебания температур распространяются на глубину 15—20 м и максимум до 30 м. Поверхность слоя

Таблица 4

Расстояние буровых скважин Пятигорска от местных центров нагрева пород и термические аномалии на глубине нейтрального слоя (норм. температура нейтр. слоя 9.8° С)

№ п/п	№ бур. скважины	Абс. отметка устья	Глубина, в м	Расстояние, в м		Температура, в °С на $h = 15$ м	Отклонения от норм. температуры, в °С	Температура, в °С на $h = 30$ м	Отклонения от норм. температуры, в °С	Примечание
				от вершины Машука	от главного сброса					
1	Перкальская 1	580.99	77.66	1 630	1 960	14.0	4.2	15.2	5.4	Абс. отметка скв. № 73 взята с карты масш. 1:2000
2	15	552.72	340.0	1 280	700	19.0	9.2	24.0	14.2	Скв. № 72, то же
3	14	552.719	230.0	1 290	700.	25.0	15.2	27.8	18.0	Скв. № 71, то же
4	73	~507	35.89	2719.5	2 009.1	11.1	1.3	11.5	1.7	Скв. № 68, то же
5	74	~628	48.24	654.7	155.4	15.8	6.0	20.0	10.2	
6	72	—	78.17	—	—	13.6	3.8	15.7	5.9	Скв. № 4, то же
7	71	~507	99.55	2353.2	1 653.9	11.0	1.2	11.8	2.0	
8	68	~600	199.0	1 070	277.5	14.3	4.5	15.8	6.0	
9	2 (холодн. Нарзан)	—	35.61	—	—	20.0	10.2	24.2	14.4	
10	4 (тепл. Нарзан)	~594	140.0	1 010	400	14.3	4.5	16.8	7.0	
11	7 (тепл. Нарзан)	597.03	79.79	1 500	340	19.0	9.2	25.0	15.2	

Таблица 5

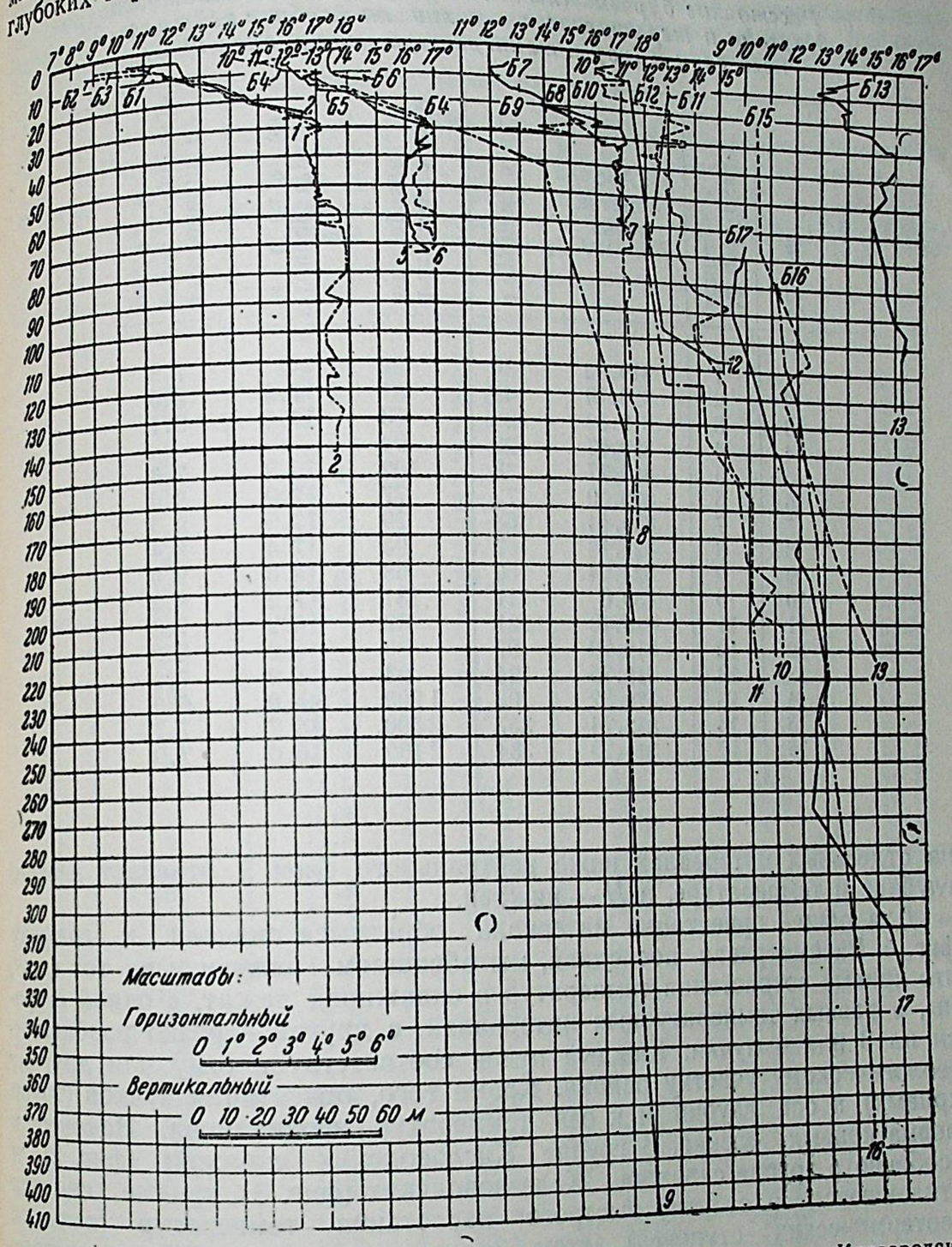
Термические аномалии на глубине нейтрального слоя $h = 30$ м (норм. температура нейтр. слоя 9.8° С) в буровых скважинах Железноводска

№ п/п	№ бур. скважины	Глубина, в м	Температура, в °С на $h = 30$ м	Отклонения от норм. температуры, в °С
1	5	29.9	21.0	11.6
2	8	23.2	—	—
3	105	23.2	—	—
4	22	22.4	—	—
5	7	33.0	37.3	27.9
6	32	32.0	33.4	24.0
7	13	29.9	46.2	36.8
8	109	10.0	—	—
9	106	15.4	—	—
10	107	19.8	—	—
11	27	40.0	52.4	43.0
12	25	34.0	50.4	41.0
13	19	31.0	34.6	25.2
14	103	25.6	—	—
15	10	44.0	34.2	24.8
16	24	39.5	38.8	29.4
17	30	32.2	43.4	34.0
18	14	28.6	—	—
19	15	53.5	52.0	42.6
20	26	47.6	50.0	40.6
21	2	45.0	54.2	44.8
22	1	35.0	54.0	44.6
23	31	35.0	59.8	40.4
24	49	28.0	—	—
25	16	98.5	43.2	33.8
26	45	38.6	47.0	37.6
27	29	26.8	—	—
28	104	26.0	—	—
29	17	32.4	43.0	33.6
30	99	12.6	—	—
31	79	22.0	—	—
32	19	31.1	34.6	25.2
33	38	21.2	—	—

где происходит практически полное затухание колебаний температур, имеет сложную форму, которая несмотря на некоторые отклонения, зависящие от ряда ранее рассмотренных факторов, повторяет все изменения в рельефе поверхности района. Ниже этой неровной изотермической поверхности начинается непрерывное повышение температуры.

При экстраполяции материалов, относящихся к характеристике изменения температур с глубиной, мы должны исходить из глубины слоя постоянной температуры в районе и величины последней. Но так как эта величина имеет в рассмотренных участках, и, вероятно, во многих других пока не выявленных местах района, крупные аномалии, созданные поднимающимися снизу токами нагретой воды, мы должны учитывать эту особенность термических условий района как при вычислении геотер-

мических ступеней, так и при общем анализе распределения тепла в глубоких горизонтах.



Фиг. 2. График изменения температур на глубину в буровых скважинах Кисловодска.

Материал, относящийся к этому разделу статьи, приведен в табл. 3, 4, 5, 6, 7 и графиках фиг. 2, 3, 4, 5, 6. Вычисление геотермических ступеней производилось по формуле:

$$\frac{H-h}{T^\circ - t^\circ} = G \text{ м/°С},$$

где G — геотермическая ступень, T° — температура на глубине, t° — температура нейтрального слоя на глубине слоя; для расчетов ступеней

Таблица 6

Расстояние буровых скважин Кисловодска от каптажа Нарзана и термические аномалии на глубине нейтрального слоя h (норм. температура нейтр. слоя 9° С)

№ п/п.	№ бур. скважины	Абс. отметка устья	Глубина, в м	Расстояние, в м от Нарзана	Температура, в °С на h=30 м	Отклонения от норм. температуры, в °С
1	1	819.82	30	82	—	7.8
2	2	820.10	142	81	17.5	8.5
3	3	819.53	26	83	17.5	8.1
4	4	819.97	28	94	—	—
5	5	819.77	73	102	16.8	7.8
6	6	820.20	72	77	17.0	8.0
7	7	820.14	63	79	17.5	8.5
8	8	825.18	167	95	17.4	8.4
9	9	824.04	150	68	18.0	9.0
10	10	830.0	211	137	17.2	8.2
11	11	816.10	221	82	16.2	7.2
12	12	819.79	97	89	15.2	6.2
13	13	818.75	124	93	16.2	7.2
14	15	879.32	202	1 900	15.0	6.0
15	16	812.74	357	2 500	16.7	7.7
16	17	814.29	334	2 100	16.0	7.0

на отдельных интервалах ниже нейтрального слоя h отвечает верхне… глубине и температуре, а H — нижней.

Для общей ориентации материала обратимся сначала к графи… фиг. 4. Рассматривая последний, мы обращаем внимание на тот фак… что кривые возрастания температур в скважинах лежат, с одной сторо… ны, в разных температурных интервалах, с другой — резко разбиваю… ся на 3 или 4 пучка. Каждый пучок соответствует тому или другом… геологическому участку района. Кроме того, ориентация пучков (груп… кривых) к оси глубин и к оси температур неодинакова. Наконец, … форма кривых разная. В группе Кисловодских скважин (фиг. 2) … особенно в группе скважин Железноводских (фиг. 3) кривые снача… отклоняются в сторону быстрого нарастания температур (высоки… геотермических ступеней), затем резко опускаются вниз в сторо… медленного нарастания температур. В кривых Пятигорской груп… скважин это явление менее заметно. В структурных буровых № 32 … особенно в Горячеводской структурной скважине прослеживается … исключительно ровное нарастание температур. Можно выделить следу… ющие группы кривых.

1. Кисловодскую, где нарастание температур на глубину происход… медленно, но их величины на глубине нейтрального слоя явно высо… и, как установлено раньше, являются резко повышенными по отношени… к нормальной температуре нейтрального слоя.

2. Железноводскую, где сначала видим быстрое нарастание темп… ратур, и величины их на глубине нейтрального слоя исключитель…

Таблица 7

Температурные данные скважин № 15, 16, 17 Кисловодской гидрогеологической партии и скважин № 14, 15 Пятигорской гидрогеологической партии. Наблюдения проведены электротермометром Т-2 № 4; температура 40.2° С

№ п/п	Глубина, в м	Температура, в ° С, скв. № 15, Кисловодск, 2 I 1940	Температура, в ° С, скв. № 14, на Горячей горе, 21 IX 1938	Температура, в ° С, скв. № 15, на Горячей горе, 15 VIII 1939	Температура, в ° С, скв. № 16, Кисловодск, 28 XII 1939	Температура, в ° С, скв. № 17, Кисловодск, 15 III 1940
1	2	3	4	5	6	7
	5	9.4	23.2	—	9.6	10.5
1	10	9.6	24.0	—	9.7	10.8
2	15	9.7	25.4	—	9.9	11.3
3	20	9.8	26.0	19.0	10.1	11.7
4	25	10.0	26.8	20.0	10.4	11.9
5	30	10.3	27.8	21.0	10.8	12.2
6	35	10.7	28.7	22.4	11.2	12.4
7	40	10.4	29.7	23.8	11.7	12.8
8	45	10.6	30.6	25.0	12.0	13.2
9	50	10.8	31.2	26.0	12.1	13.4
10	55	10.6	31.6	26.6	12.3	13.5
11	60	10.5	32.0	27.0	12.4	13.9
12	65	10.7	32.4	27.8	12.6	14.4
13	70	10.9	33.0	28.3	12.7	14.7
14	75	11.3	33.4	29.0	12.7	14.9
15	80	11.4	33.6	29.6	12.8	15.5
16	85	11.6	33.8	30.0	12.9	15.8
17	90	11.4	34.0	30.4	13.0	15.9
18	95	11.5	34.2	30.8	13.1	16.2
19	100	12.2	34.6	31.0	13.2	16.5
20	105	11.9	35.0	31.4	13.3	16.7
21	110	11.9	35.4	32.0	13.2	Забой 117.26 м
22	115	12.1	35.8	32.2	13.5	
23	120	12.3	36.2	32.4	13.7	
24	125	12.5	36.5	34.8	14.1	
25	130	12.5	37.0	33.2	14.4	
26	135	12.6	37.4	33.4	14.3	
27	140	12.7	37.6	33.6	14.0	
28	145	13.1	37.7	34.0	13.4	
29	150	13.4	37.9	34.4	13.0	
30	155	13.2	38.0	34.7	12.8	
31	160	12.9	38.3	35.0	13.0	
32	165	12.9	38.5	35.4	13.2	
33	170	13.1	38.8	35.6	13.0	
34	175	13.9	39.0	36.0	13.0	
35	180	13.8	39.2	36.4	Забой 190.57	
36	185	13.9	39.4	36.7		
37	190	14.2	39.7	37.0		
38	195	14.5	39.8	37.2		
39	200	Забой 208.38 м	39.9	37.4		
40	205	—	40.0	37.5		
41	210	—	40.0	37.7		
42	215	—	40.1	38.0		
43	220	—	40.2	38.2		
44	225	—	40.3	38.4		
45	230	—	—	38.5		
46						

Таблица 7 (*Продолжение*)

№ п/п	Глубина, в м	Температура, в ° С, скв. № 15, Кисловодск, 2 I 1940	Температура, в ° С, скв. № 14, на Горячей горе, 21 IX 1938	Температура, в ° С, скв. № 15, на Горячей горе, 15 VIII 1939	Температура, в ° С, скв. № 16, Кисловодск, 28 XII 1939	Температура, в ° С, скв. № 17, Кисловодск, 15 III 1940
1	2	3	4	5	6	7
47	235	—	—	38.7	—	—
48	240	—	—	38.8	—	—
49	245	—	—	38.9	—	—
50	250	—	—	39.0	—	—
51	255	—	—	39.0	—	—
52	260	—	—	39.1	—	—
53	265	—	—	39.2	—	—
54	270	—	—	39.4	—	—
55	275	—	—	39.5	—	—
56	280	—	—	39.6	—	—
57	285	—	—	39.7	—	—
58	290	—	—	39.8	—	—
59	295	—	—	39.9	—	—
60	300	—	—	40.0	—	—
61	305	—	—	40.2	—	—
62	310	—	—	40.4	—	—
63	315	—	—	40.6	—	—
64	320	—	—	41.0	—	—
65	325	—	—	41.2	—	—
66	330	—	—	41.3	—	—
67	335	—	—	41.5	—	—
				Забой 340 м		

аномальны, а затем происходит резкий перелом в сторону весьма медленного роста температур.

3. Пятигорскую группу, где видим быстрое и довольно равномерное нарастание температур, но с некоторой глубины все же замедляющееся, хотя и не так резко, как в Железноводске.

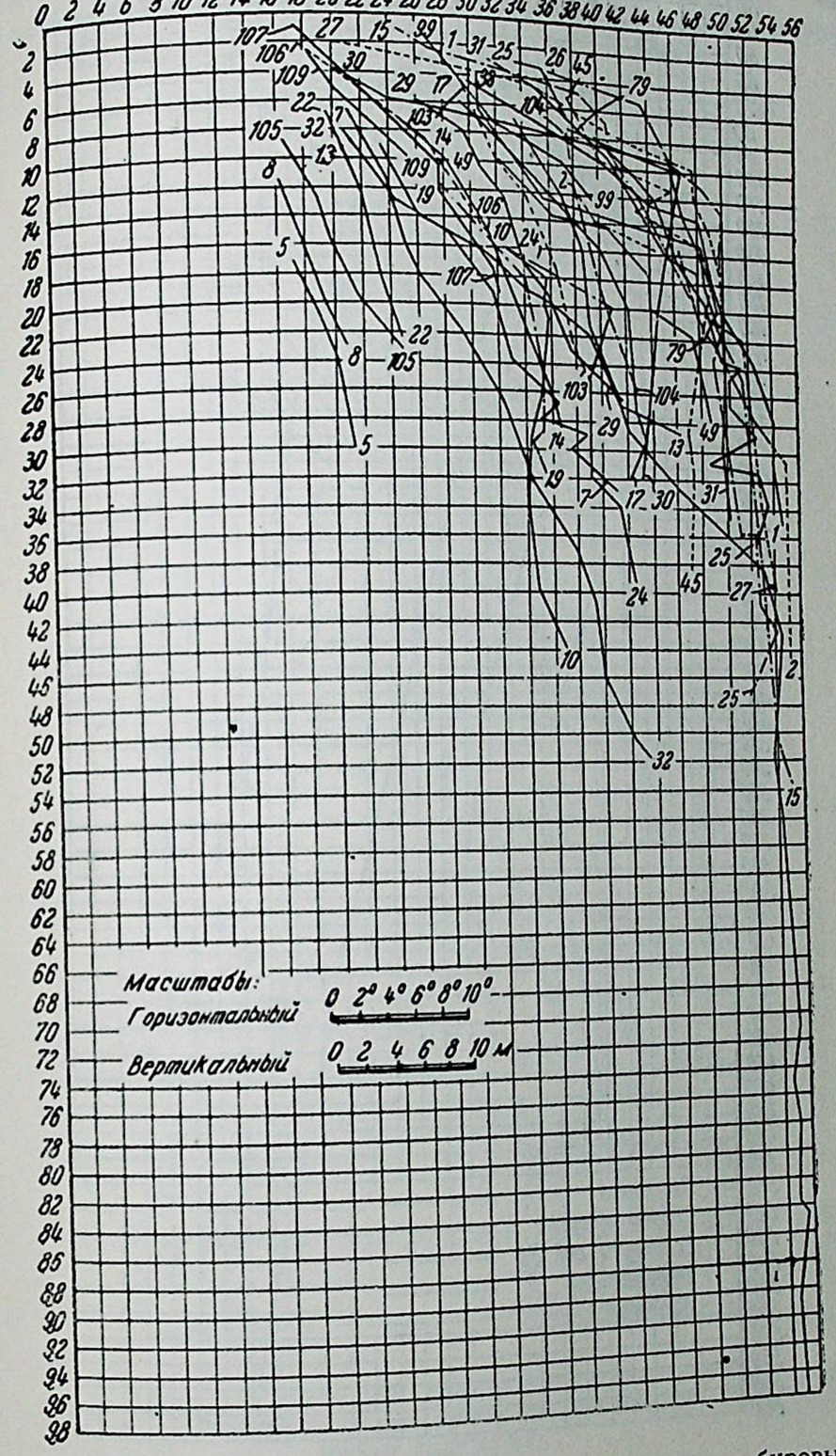
4. Группу структурных скважин, где нарастание температур происходит непрерывно и равномерно на всю глубину скважин.

Как в первых двух группах, так и в двух последних температуры нейтрального слоя повышены. В Пятигорске аномалии на глубине нейтрального слоя почти так же высоки, как в Железноводске.

Большое сходство в переломах температурных кривых Кисловодска и Железноводска, а также Пятигорска говорит о том, что во всех этих пунктах источники и условия выноса тепла на поверхность одинаковы. Очевидно, как в первом, так и во втором и третьем пунктах этими источниками являются мощные струи нагретой восходящей воды. Положение пучков в разных температурных интервалах свидетельствует о том, что разные термические аномалии созданы или в разной степени нагретыми водами, или водами одинаковой температуры, но успевшими в неодинаковой мере остыть далеко от поверхности. Последнее может быть обусловлено различной мощностью восходящих струй и неодинаковой скоростью восходящего движения токов термальной воды.

Наиболее глубокой буровой скважиной в районе является структурная буровая № 1, а потому более подробный анализ удобно начать с нее. Кроме того, она удалена от явных очагов нагрева, хотя начальная

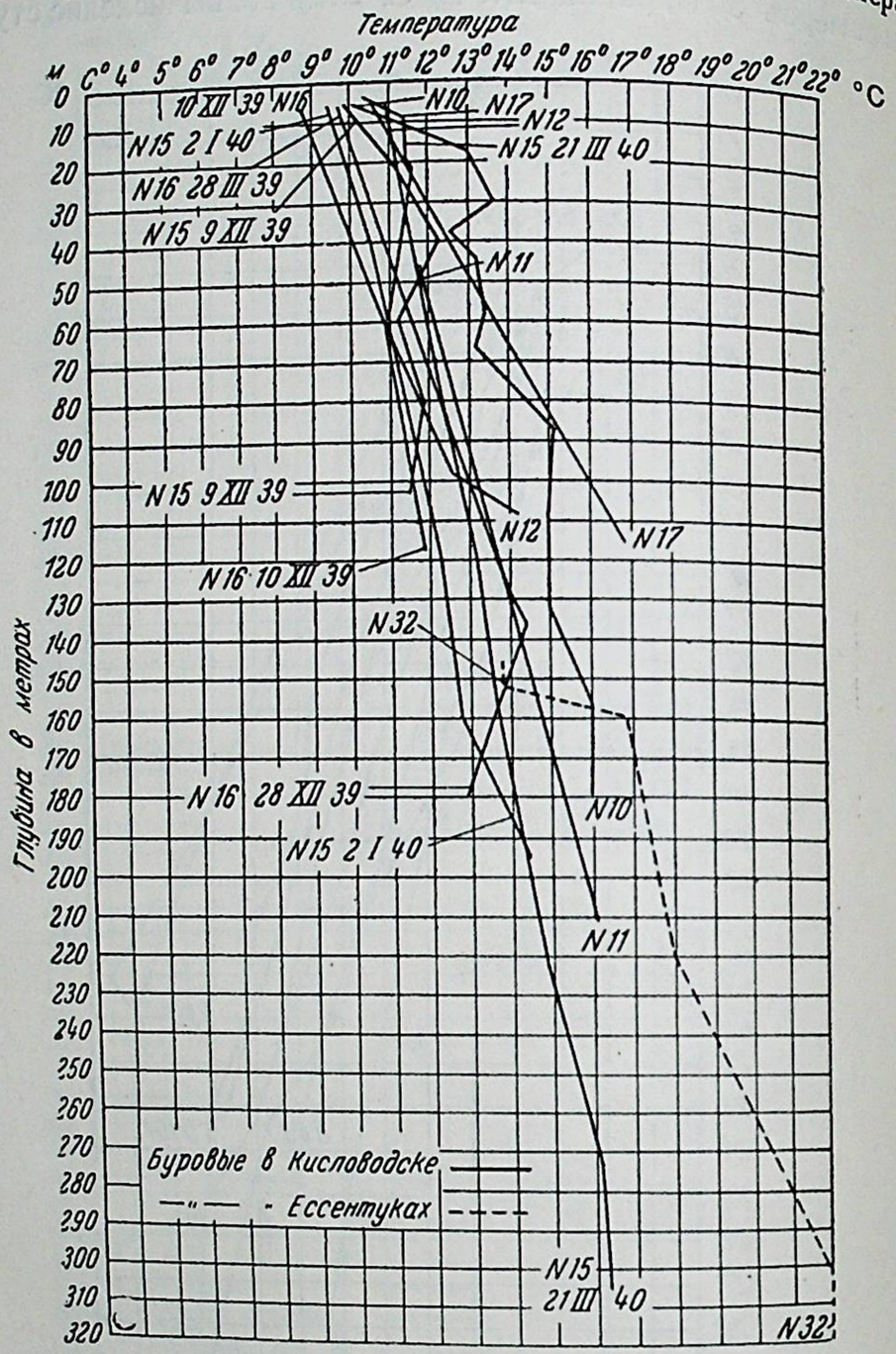
температура ее (нейтральный слой) здесь тоже повышена и равна 15.4° С. Скважина прорезала толщу майкопских глин до 50 м, затем мергели хадума от 50 до 160 м, ниже, от 160 до 330 м,— мергели эоцена, еще



Фиг. 3. График распределения температур на глубину в буровых скважинах Железноводска.

ниже — с 330 до 492 м — аргиллиты и песчаники эоцена и палеоцена и, наконец, мергели палеоцена (Ессентукской свиты) от 492 до 572 м; последний интервал — от 572 до 593 м — она прошла в известняках маастрихта, в которых и остановлена. Мергели маастрихта имеют мощность

наблюдений в ней и ровного характера нарастания температуры с углублением, геотермическая ступень этой скважины может являться опорной и наиболее надежной геотермической ступенью, по крайней мере для северной части района Кавказских минеральных



Фиг. 6. График изменения температур на глубину в буровых скважинах Кисловодска и Ессентуков.

вод. В пределах всего разреза скважина не встретила сколько-нибудь мощных притоков воды, которые могли бы вызвать ту или другую термическую аномалию в ее разрезе на данном участке. Расстояние ее от вершины Машука равно 4.5 км.

Вторая структурная буровая скважина № 32 (разъезд «Золотушка») имеет глубину 502.71 м; с глубины 10.65 до 159.49 м — отложение свиты Горячего ключа, с 0 до 10.65 м она прошла в наносах — суглинках, с 10.65 до 13.26 м в аргиллитах, с 13.26 до 74.22 м в песчаниках, с 74.22 до 159.49 м в сланцах, с 159.49 до 502.49 м в мелу (159.49—339.24 м

Таблица 8

Температуры структурной буровой № 1 (Горячеводск), измерение электротермометром[1]

№ п/п	Глубина, в м	Температура, в °С	№ п/п	Глубина, в м	Температура, в °С	№ п/п	Глубина, в м	Температура, в °С	№ п/п	Глубина, в м	Температура, в °С
1	50	15.4	21	250	25.6	41	400	33.5	61	500	37.8
2	60	15.6	22	260	26.1	42	405	33.8	62	505	37.9
3	70	16.1	23	270	26.6	43	410	34.1	63	510	38.3
4	80	16.7	24	280	27.1	44	415	34.3	64	515	38.6
5	90	17.2	25	290	27.6	45	420	34.5	65	520	38.8
6	100	17.9	26	300	28.2	46	425	34.8	66	525	39.0
7	110	18.4	27	310	28.7	47	430	35.1	67	530	39.2
8	120	19.1	28	320	29.2	48	435	35.4	68	535	39.4
9	130	19.7	29	330	29.7	49	440	35.6	69	540	39.6
10	140	20.4	30	340	30.2	50	445	35.8	70	545	39.9
11	150	20.8	31	350	30.8	51	450	36.0	71	550	40.1
12	160	21.3	32	355	31.0	52	455	36.1	72	555	40.3
13	170	22.0	33	360	31.3	53	460	36.2	73	560	40.4
14	180	22.5	34	365	31.6	54	465	36.4	74	565	40.6
15	190	23.1	35	370	31.8	55	470	36.6	75	570	40.7
16	200	23.5	36	375	32.0	56	475	36.9	76	575	40.9
17	210	23.9	37	380	32.3	57	480	37.0	77	580	41.0
18	220	24.4	38	385	32.6	58	485	37.2	78	585	41.2
19	230	24.8	39	390	32.9	59	490	37.4	79	590	41.3
20	240	25.1	40	395	33.2	60	495	37.6	80	593	41.4

мергель, 339.24—339.88 м песчаник, 339.88—502.71 м известняки и мергель); пройдена крелиусным бурением, с промывкой. Скважина недостаточно выдерживалась перед замером температуры; замеры производились ленивым термометром непосредственно в период бурения, причем замеров сделано мало, поэтому наблюдения скважины № 32 менее надежны. Геотермическая ступень скважины, рассчитанная с глубины 30 м при температуре здесь 9.10° С, получилась равной 23.3 м/° С. Все же нужно думать, что ствол данной скважины был значительно охлажден промывными водами во время бурения. Наиболее вероятная ступень скважины № 32, судя по широте положения точки буровой и аналогичным с буровой в Горячеводске геологическим условиям, должна быть близкой к геотермической ступени Горячеводской буровой.

К югу от скважины № 32, в Ессентуках, если судить по температурам воды в глубоких Ессентукских буровых скважинах № 1 и № 2, выносящих углекислую минеральную воду с дебитом до 1 000 000 л/сутки, геотермическая ступень равна 19.7 м/° С. По отдельным замерам температуры в других буровых скважинах Ессентукского курорта, геотермическая ступень для территории Ессентуков намечается близкой к 19—22 м/° С. Около лакколита Юца, т. е. вблизи области питания меловых пород на Джинале и Юцкого источника, скважина, пробуренная до глубины 100.78 м, имеет геотермическую ступень также близкую к структурной буровой в Горячеводске, равной 22 м/° С. Таким образом, эти три равномерно разбросанные по району скважины, а также Ессентукские скважины, не считая Кисловодских, Пятигорских и Железно-

[1] По данным А. М. Каспарьяна.

Геотермические ступени района КМВ по данным

№ п/п	№ бур. скважины	Абс. отметка устья	Глубина, в м	Температура, в ° С, нейтр. слоя
1	2	3	4	5
	С т р у к т у р н а я			
1	Горячеводская	480	593	9.8
2	№ 32 («Золотушка»)	—	—	9.1
	П я т			
3	Перкальская 1	5?0.99	77.66	9.8
4	15	552.72	340.0	
5	14	552.719	231.0	
6	73	~ 507.0	35.89	
7	74	~ 628.0	48.24	
8	72	—	78.17	
9	71	~ 507.0	99.55	
10	68	~ 600.0	199.0	
11	Холодн. Нарзан 2	—	35.61	
12	Тепл. Нарзан 4	~ 594	140.0	
13	» » 7	597.03	79.79	
14	258	562.45	93.09	
15	254	565.1	77.75	
16	244	570.79	76.68	
17	252	—	23.0	
18	253	—	28.8	
19	257	—	22.6	
20	8	—	52.3	
21	24	—	41.6	
22	23	—	43.3	
23	2	—	21.3	
24	60	—	23.3	
25	6	—	34.1	
26	63	—	51.2	
27	70	—	76.8	
28	67	—	60.6	
29	69	—	192.0	
	Ж е л е			
30	1			9.4
31	2	609.86	41.8	
32	5	618.78	47.37	
33	7	618.76	29.9	
34	8	619.01	33.47	
35	10	6?3.03	24.32	
36	13	618.74	47.15	
37	14	618.80	29.9	
38	15	611.08	29.98	
		606.42	54.37	

замеров температуры в буровых скважинах Таблица 9

Температура, в ° С, на забое	Геотерм. ступень, в м/° С, при глубине нейтр. слоя		Фактич. температура, в ° С, на глубине нейтр. слоя		Отклонения от норм. температуры, в ° С, на глубине		Примечание
	30 м	15 м	30 м	15 м	30 м	15 м	
6	7	8	9	10	11	12	13
б у р в а я							
41.4	17.7	18.4 20.0[1]	13.6	13.4	3.8	3.6	
24.0	23.3	24.3 31.6[1]	—	—	—	—	
г о р с к							
18.5	5.3	7.1	15.2	14.0	5.4	4.2	
41.9	9.6	10.1	24.0	19.0	14.2	9.2	
40.6	6.3	6.8	27.8	25.0	18.0	15.2	
12.0	2.6	9.0	11.5	11.1	1.7	1.3	
25.3	1.2	2.1	20.0	15.8	10.2	6.0	
23.5	3.5	4.6	15.7	13.6	5.9	3.8	
14.8	13.9	16.9	11.8	11.0	2.0	1.2	
37.5	6.0	6.6	15.8	14.3	6.0	4.5	
26.0	0.3	1.3	24.2	20.0	14.4	10.2	
41.0	3.2	4.0	16.8	14.3	7.0	4.5	
39.0	1.6	2.1	25.0	19.0	15.2	9.2	
37.0	2.3	2.8	21.0	16.9	11.2	7.1	
36.0	1.8	2.5	23.0	19.0	23.2	9.2	
25.0	3.1	41.0	26.8	21.5	17.0	11.7	
23.8	—	0.6	—	23.0	—	13.2	
25.0	—	0.8	—	24.0	—	14.2	
13.8	—	1.9	—	13.6	—	3.8	
12.8	7.4	12.4	11.8	11.2	2.0	1.4	
44.4	0.3	0.7	37.3	26.0	27.5	16.2	
39.9	0.4	0.9	35.6	27.0	25.8	17.2	
27.9	—	0.3	—	24.4	—	14.6	
29.4	—	0.3	—	25.1	—	15.3	
26.3	0.3	1.1	25.0	17.8	15.2	8.0	
33.2	0.9	1.5	24.8	19.0	15.0	9.2	
23.0	3.5	4.6	14.8	12.3	5.0	2.5	
16.2	4.7	7.1	14.0	12.0	4.2	2.2	
38.7	5.9	6.1	16.0	13.2	6.2	3.4	
н о в о д с к							
54.9	0.3	0.6	54.0	48.0	44.6	38.6	
54.6	0.3	0.6	54.2	44.6	44.8	35.2	
21.0	—	1.3	21.0	17.0	11.6	76.0	
41.0	0.09	0.6	37.3	28.0	27.9	18.6	
20.6	—	0.8	—	—	11.2	11.2	
36.5	0.6	—	34.2	—	24.0	—	
46.2	—	0.4	46.2	28.0	36.8	18.6	
36.6	—	0.6	—	31.2	—	21.8	
54.7	0.5	0.8	52.0	44.7	42.6	35.3	

[1] При $t°$ нейтр. слоя 12.5° С.

Таблица 9 (*Продолжение*)

№ п/п	№ бур. скважины	Абс. отметка устья	Глубина, в м	Температура, в ° С, нейтр. слоя	Температура, в ° С, на забое	Геотерм. ступень, в м/° С, при глубине нейтр. слоя		Фактич. температура, в ° С, на глубине нейтр. слоя		Отклонения от норм. температуры, в ° С, на глубине		Примечание
						30 м	15 м	30 м	15 м	30 м	15 м	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
39	Тепл. Нарзан 16	611.34	119.74		55.5	1.9	2.2	42.2	37.2	32.8	27.8	
40	17	607.05	33.07		41.9	0.07	0.5	43.0	39.0	33.6	29.6	
41	19	600.24	31.7		35.0	0.04	0.6	34.6	30.8	25.2	21.4	
42	22	584.05	23.04		24.7	—	0.3	24.7	24.7	15.3	15.3	
43	24	620.90	39.05		42.3	0.3	—	38.8	—	29.4	—	
44	25	605.2	38.83		52.4	0.3	0.6	52.0	44.7	42.6	35.3	
45	26	609.1	50.43		49.5	0.5	0.8	49.0	49.2	39.6	39.8	
46	27	607.26	41.39		53.0	0.2	0.5	52.4	43.0	43.0	33.4	
47	29	607.82	28.59		41.6	—	0.4	—	32.2	—	22.8	
48	30	398.03	32.2		43.0	0.06	0.5	43.4	45.8	34.0	36.4	
49	31	601.6	36.06		50.3	0.12	0.5	49.8	49.2	40.4	39.8	
50	32	601.05	53.34		42.0	0.7	1.2	33.4	23.8	24.0	14.4	
51	38	597.71	22.83		49.6	—	0.2	—	46.8	—	37.4	
52	45	594.72	40.54		47.0	0.2	0.7	47.0	46.0	37.6	36.6	
53	49	618.93	28.38		48.7	—	0.3	—	40.2	—	30.8	
54	79	611.5	22.83		48.5	—	0.2	—	47.2	—	37.8	
55	103	—	25.6		39.0	—	0.3	—	35.3	—	25.9	
56	104	—	26.0		46.6	—	0.3	—	39.0	—	22.6	
57	105	—	23.2		24.7	—	0.5	24.7	24.7	15.3	15.3	
58	106	—	15.4		31.6	—	0.02	—	31.6	—	28.2	
59	107	—	19.8		32.0	—	0.2	—	29.8	—	20.4	
60	62	657.7	29.9		15.0	—	2.6	—	12.7	—	3.3	
61	63	654.9	28.1		18.4	—	1.4	—	14.2	—	4.8	
62	65	652.83	23.5		16.1	—	1.2	—	12.5	—	3.1	
63	52	644.1	26.4		20.5	—	1.0	—	15.8	—	6.4	
64	101	—	23.3		17.8	—	1.0	—	15.1	—	5.7	
65	90	—	21.0		20.0	—	0.8	—	17.6	—	8.2	
66	92	—	21.3		19.8	—	0.6	—	17.6	—	8.2	
67	91	—	21.3		16.5	—	0.9	—	14.9	—	5.5	
68	59	638.55	17.7		16.0	—	0.4	—	15.1	—	5.7	
69	63	657.6	12.8		13.7	—	—	—	12.8	—	3.0	
70	94	—	28.8		18.1	—	1.5	—	14.2	—	4.8	
	К и с л о в о д с к											
71	1	819.8	30.0	9.0	16.9	0	—	16.9	—	7.9	—	
72	2	820.1	142.0		17.5	13.1	—	17.5	—	8.5	—	
73	3	819.53	28.1		16.5	—	1.7	—	13.8	—	4.8	
74	4	819.97	28.4		16.8	—	1.7	—	13.1	—	4.1	
75	5	819.77	73.9		16.8	5.6	—	16.8	—	7.8	—	
76	6	820.20	72.04		17.0	5.2	—	17.0	—	8.0	—	
77	7	820.14	64.1		17.2	4.1	—	17.5	—	8.5	—	
78	8	825.19	163.9		17.5	16.3	—	16.2	—	7.2	—	
79	9	824.04	455.0		18.2	46.1	—	15.0	—	6.0	—	
80	10	830.0	213.4		17.2	22.3	—	13.6	—	4.6	—	
81	11	816.10	213.2		16.3	25.0	—	13.0	—	4.0	—	
82	12	819.79	108.8		10.5	52.6	—	10.2	—	1.2	—	
83	13	818.75	125.1		16.4	12.8	—	16.0	—	7.0	—	
84	15	879.32	355.2		15.3	51.6	—	10.0	—	1.0	—	
85	16	812.74	403.4		15.0	62.2	—	10.7	—	1.7	—	
86	17	814.29	330.3		16.2	41.7	—	10.0	—	1.0	—	

№ п/п	№ бур. скважины	Абс. отметка устья	Глубина, в м	Температура, в ° С, нейтр. слоя
1	2	3	4	5
		Е с с е н т у к и		
87	1 глубокая	609.49	—	9.1
88	2 глубокая	602.31	572.0	
89	17 коренная	—	108.0	
90	23	—	544.6	

водских, заложенных в большинстве случаев в аномальных термических участках, рисуют нам среднюю картину геотермических ступеней района.

Разительно более высокие ступени дают многочисленные буровые скважины в Пятигорске, Железноводске и Кисловодске на глубинах ниже постоянного слоя температуры.

Рассмотрим группу Пятигорских скважин. Все буровые скважины этой группы заложены на склонах лакколита Машука. Пройденные ими породы представлены трещиноватыми мергелями и аргиллитами палеоцена. Лишь некоторые, более удаленные от крутых склонов горы, прошли в мергелях эоцена и олигоцена (табл. 9). Из рассматриваемых 26 скважин наиболее глубокими являются скважины № 15, 14, 68, 69 и 4 и Перкальская буровая № 1; первые заложены на южном склоне, почти непосредственно в зоне тектонических нарушений, последняя находится на северном склоне в области развития травертинов, отложенных минеральной водой. Расстояния этих и остальных скважин от возможных центров нагрева приведены в табл. 4. Мы уже отмечали выше, что скважины южного склона горы находятся в области выхода минеральных источников, термальные воды которых циркулируют здесь всюду в трещинах нарушений, прогревая породы и в свою очередь охлаждаясь в них. В целом превалирует приток тепла, и соответственно геотермические ступени в скважинах весьма высоки.

Рассматривая табл. 9, можно видеть, что геотермическая ступень в скважинах, при глубине нейтрального слоя $h = 30$ м, колеблется в пределах от 0.33 до 9.6 м/° С; при $h = 15$ м, что для Пятигорска более правильно, геотермическая ступень изменяется от 0.7 до 10.1 м/° С, т. е. опять-таки остается чрезвычайно высокой. Несколько более низкую ступень имеет скважина № 71, но она находится сравнительно далеко от главного склона Машука. Все же и ее ступень равна 12 м/° С (при $h = 30$ м) и 15 м/° С (при $h = 15$ м).

Таблица 9 (*Продолжение*)

Температура, в ° С, на забое	Геотерм. ступень, в м/° С, при глубине нейтр. слоя		Фактич. температура, в ° С, на глубине нейтр. слоя		Отклонения от норм. температуры, в ° С, на глубине		Примечание
	30 м	15 м	30 м	15 м	30 м	15 м	
6	7	8	9	10	11	12	13
т у к и							
24.7	19.7 / 25.2[1]	—	—	—	—	—	Температура на глубине 337.6 м
24.8	27.1 / 38.2[1]	—	—	—	—	—	Температура на глубине 444 м
15.0	13.2 / 31.2[1]	—	—	—	—	—	
20.0	18.3 / 26.6[1]	—	—	—	—	—	Температура на глубине 232 м

Табл. 4 показывает, что наиболее высокие ступени имеют скважины, находящиеся вблизи или непосредственно в зонах тектонических трещин с горячей водой.

Еще более высокие геотермические ступени дают Железноводские буровые скважины. Все они находятся непосредственно в зонах тектонических нарушений и трещин с горячей минеральной водой в мергелях и аргиллитах палеоцена.

Геотермические ступени Железноводских скважин колеблются в пределах от 0.09 до 1.5 м/° С, если исходить из глубины нейтрального слоя 30 м, и в пределах от 0.15 до 2.6 м/° С при глубине $h = 15$ м.

Довольно высокие геотермические ступени получаются также для буровых скважин Кисловодска. Как мы уже отмечали выше, все кисловодские скважины заложены в области развития известняков валанжина. При этом часть из них прошла только в известняках валанжина, другая часть прорезала эти породы и вошла в континентальные отложения титона и, наконец, некоторые прорезали и титонские слои, остановившись в ниже залегающих кристаллических сланцах.

Здесь можно выделить три группы скважин по геотермическим ступеням:

1. Скв. № 5, 7, 6, 8 со ступенью от 3.9 до 5.2 м/°С.
2. Скв. № 2, 12, 13 со ступенью от 12.4 до 13.2 м/°С.
3. Скв. № 9, 10, 11, 15, 16, 17 со ступенью от 22 до 43.7 м/°С.

Скважины первой и второй групп, выделяющиеся неожиданно высокой геотермической ступенью, характерной, казалось бы, только для Железноводска или Пятигорска, расположены непосредственно вблизи Нарзана (табл. 6).

[1] При $t°$ нейтр. слоя 12.5° С.

Скважины третьей группы, имеющие, наоборот, весьма низкую ступень, частью расположены далеко от Нарзана (скв. № 15, 16, 17) в расстоянии от 1.9 до 2.5 км, частью вблизи него (скв. № 9, 10, 11). Существование настолько различных геотермических ступеней на одном и том же участке, буквально в пределах нарзанной площадки, представляет не меньший интерес, чем присутствие здесь высоких ступеней вообще. Очевидно, такое различие в геотермических ступенях скважин одного района следует объяснять тем, что одни из них находятся в зонах циркуляции восходящих нагретых вод, другие — в зонах вод более холодных.

Прежде чем перейти далее к сравнительному анализу материалов и их гидрогеологической интерпретации, напомним, что самая максимальная температура в районе наблюдалась в Железноводской скважине № 16 (бур. скважина Славяновского источника), где на глубине 93.5 м она оказалась равной 56° С.

Близкую к буровой № 16 температуру имеют Железноводские буровые № 2, 15, 27.

В Пятигорске наиболее высокую температуру, равную 44.2° С, показывает скважина № 24 на глубине 41 м, затем скважина № 15, в которой на глубине 340 м определена температура 41.9° С, а также скважина № 4, давшая на глубине 140 м температуру 41° С, и скважина № 14 (соляно-щелочной источник), в которой на глубине 240 м температура воды и окружающих пород близка к 40.6 м/° С.

Высокая температура, равная 41.1° С, отмечается на забое структурной буровой скважины (глубина 593 м).

Скважина № 32 (разъезд «Золотушка») показала на глубине 380 м температуру 24° С.

В Кисловодске самая высокая температура 25.2° С наблюдалась в наиболее глубокой скважине № 9; эта температура отмечена на глубине 417 м от поверхности (в кристаллических сланцах).

Сравнивая геотермические ступени буровых скважин с термическими аномалиями в них на глубине нейтрального слоя, замечаем, что чем выше геотермическая ступень, тем значительнее термическая аномалия.

Наиболее высокие термические аномалии и геотермические ступени наблюдаются в Железноводске, на втором месте стоит Пятигорск, на третьем Кисловодск. Внутри каждой группы такая связь прослеживается по направлению к местам тектонических трещин и циркуляции нагретых вод.

Термы, поднимаясь снизу, прогревают окружающие породы, создавая в них своеобразные геотермические купола. Очевидно, если соединить мысленно точки одинаковых температур в этих сферах теплового воздействия вод, то мы получим в каждой группе источников сложную поверхность. Формы изотермических поверхностей зависят, главным образом, от направления характера трещиноватости и ширины трещин, по которым циркулирует нагретая минеральная вода.

Остановимся на следующих принципиальных моментах, вытекающих из рассмотрения графиков распределения температур в породах месторождений. В Железноводске резкий перелом кривых нарастания температуры наблюдается с глубины 15 м. Это свидетельствует о том, что выше 15 м происходит интенсивное излучение из почвы восходящих токов тепла и что ниже данной глубины кривые переходят в зону энергичного

теплового воздействия вод на горные породы. В Пятигорске такого повсеместного резкого перелома на 15 м не наблюдается, а в Кисловодске подобный перелом намечается на глубине 25—30 м. До известной степени эти переломы могут характеризовать глубину залегания нейтрального слоя. В таком случае глубина нейтрального слоя в районе лакколитов меньше 30 м, как и показали расчеты, в то время как в Кисловодске она близка к 30 м. Неодинаковые начальные температуры на срезе 30 м, температуры на других срезах в разных скважинах одних и тех же участков объясняются, как отмечено выше, расстоянием ствола скважин от главных водовыводящих трещин. Следовательно, в практическом отношении интересны все скважины правых частей графиков, лежащие в области высоких температур. Кривые, как показывают гидрогеологические данные скважин, не встретивших воду (фиг. 5), лежат в области пониженных температур. Обычно и характер кривых безводных скважин другой; они не так резко выгнуты в сторону положительных температур. Выгнутости кривых и характеризуют прогревание пород нагретыми восходящими водами почти до поверхности. Сдвиг кривых вправо от ординаты с температурой 10° С (примерная температура нейтрального слоя) позволяет судить о величине термической аномалии всего разведанного участка, а выгнутости кривых — об усилении этой аномалии вблизи трещин с горячей водой. Таким образом, форма температурной кривой является замечательным показателем прогноза на минеральную воду.

Ясно, что если бы минеральные воды не выносили с собой тепло, то температурные кривые на участках выхода этих вод имели бы не только другую форму, а именно — форму, подобную кривым структурных буровых, но и более круто опускались бы вниз, т. е. характеризовались бы более низкими ступенями, повидимому близкими к ступеням структурных буровых. Исходя из этого, следует предполагать, что в Железноводске, Пятигорске и Кисловодске дальнейшее повышение температур, после того как кривые резко преломляются вниз, должно итти более медленно, чем даже в структурных буровых, по крайней мере до тех глубин, которым соответствует данная температура нормальной кривой в буровых скважинах, находящихся за пределами тепловых фокусов (структурных). Такой прогноз можно сделать, в частности, для тех кривых Пятигорских скважин, на которых этого перелома не видно. При дальнейшем углублении переломы на них появятся, при этом резче в тех скважинах, в которых имеем самое быстрое нарастание температуры в первом интервале глубин; в этих же скважинах медленнее пойдет после перелома кривой дальнейшее нарастание температуры, или оно даже вовсе остановится, как это имеет место в Славяновской буровой в Железноводске. Возможно, новое повышение температуры наступит только после того, как скважина достигнет глубины, соответствующей температуре 56°С в структурной буровой. Иначе говоря, такая скважина, как Славяновская в Железноводске, донесла почти до самой поверхности ту температуру, нормальное господство которой находится, исходя из геотермической ступени Горячеводской структурной буровой, на глубине 863 м.

Более медленное нарастание температуры в буровых Пятигорска связано, как показали работы, с тем, что здесь минеральная вода проходит довольно мощную толщу осадочных меловых пород, в то время

как в Железноводске она поднимается прямо по контакту трахитов с мергелями.

Следует, наконец, подчеркнуть неодинаковое положение структурной буровой и скважины № 32 в градусной сетке. Легко понять, что первая скважина лежит в области развития более высоких температур, чем скважина вторая. С глубины 130 м до 380 м температурный интервал между ними колеблется в пределах 4—8° С.

Сравнивая температуры источников с максимальными температурами скважин, удаленных от рассмотренных местных очагов нагрева пород, мы видим, что ни одна из буровых скважин района, несмотря на то, что забои многих скважин находятся на сотни метров ниже отметок выхода термальных источников, еще не достигла той глубины, с которой поднимаются наиболее горячие термы района.

Определение глубины нагревания воды минеральных источников является решением одного из основных вопросов генезиса минеральных вод района.

Вместе с тем, исходя из анализа предыдущих материалов, термальными источниками мы должны считать не только те источники КМВ, которые мы привыкли называть «термами», т. е. источники Железноводска, Пятигорска и Кумогорска, но и буквально все остальные минеральные источники района, в том числе Кисловодский нарзан, Ессентукские минеральные воды, которые мы привыкли считать холодными водами, а также Быкогорские серные источники и, возможно, некоторые другие.

Действительно, как показывает диаграмма, температуры вод всех минеральных источников района даже на выходе превышают на ту или другую величину среднегодовую температуру воздуха и температуру нейтрального слоя. Поэтому, нам представляется, что критерием «термальности» воды должен явиться только единственный критерий, а именно — температура нейтрального слоя.

Мы видели, что не только в Железноводске и Пятигорске, но и в Кисловодске вокруг Нарзана и в местах выхода других минеральных источников района существуют термические купола, которые создаются восходящими токами нагретых вод. Еще не так давно они проявлялись горячими ключами и прогревом почвы до самой поверхности на лакколитах Юца, Лысая, возможно Золотой курган, Змейка и на других лакколитах, где в настоящее время мы встречаем только незначительные высачивания минеральной воды или только слабые их выходы в провал (отложения травертинов).

О прошлой более активной деятельности минеральных вод на лакколитах свидетельствуют сохранившиеся мощные отложения на них известкового туфа [2, 7].

В то время термический ореол вокруг Машука и Железной был выражен гораздо резче. Вероятно, не менее резко, чем теперь на Машуке и Железной, он был выражен вокруг Кисловодского нарзана, в Ессентуках, на горе Бык, Лысой, Юце и в других местах, имеющих следы прежней деятельности термальных источников. Травертиновое поле вблизи Нарзана, залегающее на 20 м выше современной отметки Нарзана, напоминает о том, что температура воды этого «холодного источника» была когда-то действительно высокой. У нас есть большие основания рассматривать большинство травертиновых полей в районе КМВ как места прежних выходов минеральных вод. Отсюда мы предполагаем, в частности, основываясь также и на других материалах,

что и теперь в некоторых из этих пунктов сохранились не только повышенные термические условия, но и минеральные воды. Однако, учитывая динамику выноса тепла, повышенные термические условия непосредственно вблизи поверхности сохраняются лишь в том случае, если из недр таких мест продолжают подниматься термы, выносящие тепло. Если же минеральная вода не доходит до поверхности, т. е. не имеет восходящего движения, она, очевидно, сама принимает температуру окружающих пород.

Таким образом, имеются прямые указания, позволяющие говорить о недавних прошлых, более высоких геотермических условиях района, когда и кисловодский нарзан представлял собой типичный углекислый настоящий термальный источник. Как показывают наши последние работы, такие условия продолжали существовать в вюрмское время и почти вплоть до современной эпохи.

Чтобы судить, откуда в настоящее время выносятся вместе с водой массы тепла, нужно правильно оценить приведенные факты о прошедших эпохах геологической жизни источников.

Эти факты свидетельствуют о том, что в геолого-историческое время значительно изменился геотермический режим недр района. Такое региональное изменение геотермических условий его недр не могло, конечно, произойти только под влиянием каких-то местных факторов.

Когда мы говорим о геотермике района, мы всегда помним о недавнем вулканизме района, и, естественно, всю тепловую жизнь его неизменно хочется увязать с этими магматическими явлениями. Однако не обязательно непосредственно с ними увязывать температуры горных пород и воды. Что касается воды, то она является лишь переносчиком тепла, и это всегда следует помнить. Для изменения же теплового режима горных пород, а следовательно, и воды, поднимающейся из них и создающей у поверхности термические аномалии, достаточно хотя бы длительное и глубокое проявление эрозионного фактора. Этот фактор постепенно ведет к промыву неглубоких горизонтов холодными атмосферными водами и, следовательно, со временем понижает и тепловые условия недр.

Медленное понижение температур вниз вызывает непосредственный размыв поверхности. В Кавминводском районе, где в четвертичное время произошло глубокое врезание долин и смыты огромные толщи третичных мергелей и глин с основных водоносных пластов, этот эрозионный фактор сыграл огромную роль в уменьшении теплового баланса недр района и в истории жизни его минеральных источников. Так, если на кровле верхнего мела района структурной буровой в Горячеводске мы наблюдаем в настоящее время температуру 41.1° С, то, принимая во внимание, что с начала четвертичного периода здесь смыта толща неогеновых отложений мощностью не менее 400 м, и исходя даже из расчета современной геотермической ступени этой скважины, устанавливается прежняя температура кровли мела этого участка, равная 65—70° С. В районе Юцкого источника подсчитанная таким образом температура кровли верхнемеловых пород достигала, даже после полного смыва майкопских глин, минимум 40° С. Отсюда понятно и присутствие на Юце известкового туфа, отложенного термальной водой, и то, почему в настоящее время мощный Юцкий родник выносит из верхнего мела только холодную пресную воду с температурой 9° С.

То же самое можно сказать о причинах отложения травертин полей во многих других пунктах района. Однако этот общий логическ ход рассуждений нарушается тем, что большинство травертиновых б на лакколитах и в других местах района лежит уже на размытой верхности третичных пород, частью на отложениях молодых четверт ных террас, обычно после гюнцского, миндельского и даже после ского времени. Так, кисловодские травертины покоятся на разм поверхности валанжинских известняков, образующих здесь площ бюрмской террасы. Другим примером являются Ессентуки, где тра тины покоятся на рисской аллювиальной террасе. Травертины Лысой лежат на уровне рисской террасы, машукские на минде рисской и бюрмской террасах.

Следовательно, причиной охлаждения слоев и подземных вод р в последние эпохи являлись другие факторы — повидимому тект ские и вулканические.

Отнеся рассмотрение этого вопроса, как и вообще вопроса о ге и истории развития минеральных вод района, к другим нашим раб следует отметить, что, конечно, могущественным фактором в теп балансе района являлись совсем недавно его магматические Охлаждение вулканических тел и миграция холодных температур благодаря разрушению поверхностных слоев эрозионными процес а также некоторые другие причины второстепенного порядка и м тектонические движения — все это вызвало непрерывное и повсем изменение теплового режима и явилось причиной последовате ного выключения из сферы деятельности терм различных литов района и наступления с высокогорных южных об широкого фронта холодных вод, все более охлажда недра территории.

В полосе наступления холодных температур, приносимых вод юга, находятся в настоящее время Кисловодский нарзан и Ессенту минеральные воды. В области наступления холодных температур дятся Железноводск, Пятигорск, Кумогорск и другие действ термальные источники. Однако проявление восходящих токов т местах выхода еще велико и фиксируется здесь в виде рассмотр термических куполов.

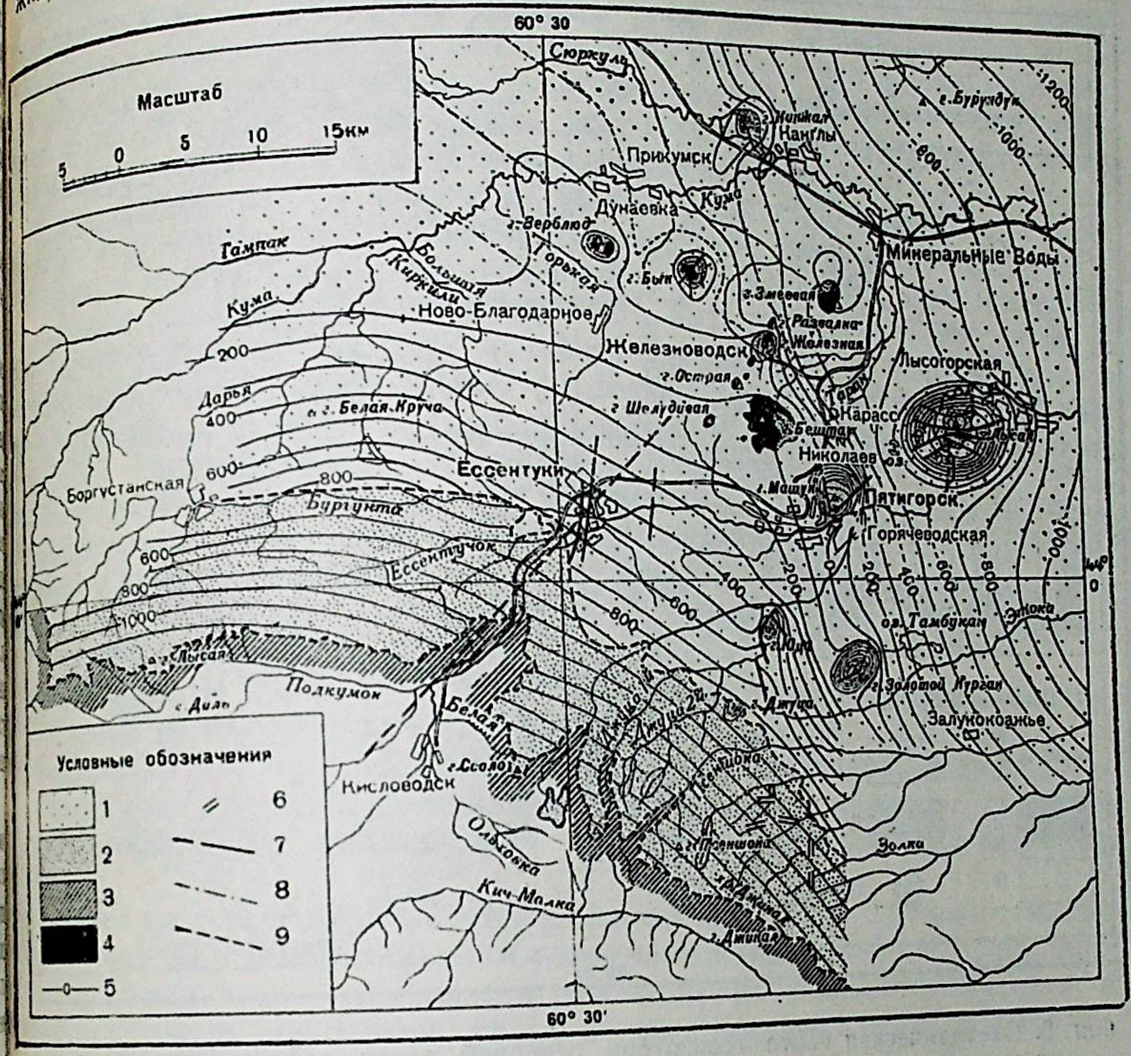
Сделанное небольшое отклонение в область истории геотермич режима района позволяет более осмысленно подойти к более ши чем раньше, характеристике современных геотермических услов недр.

Для характеристики современных геотермических условий района нами составлена карта геоизотерм по кровле водоу альбских отложений или подошвы водоносных верхнемеловых изве ков (фиг. 8).

Основой для составления карты послужили карта изолиний верхнего мела, составленная Г. П. Леоновым по нашей прось приведенные выше данные по температурным наблюдениям в глу буровых скважинах.

Карта изолиний кровли верхнего мела перестроена нами в подошвы верхнего мела, для чего была взята мощность верхнем известняков от 350 до 400 м. Прежде составлялись многочис геотермические профили через весь район, на основе чего соста сетка температур на подошвы известняков, а затем сделана экстр

ния изолиний одинаковых температур. В основу вычисления температур для отдельных точек взята средняя геотермическая ступень по глубоким скважинам, которая принята равной 22.5 м/° С. Вблизи отдельных лакколитов брались для экстраполяции геотермические ступени тех скважин, которые находятся вне влияния местных центров нагрева пород.



Фиг. 7. Структурная карта северной части района Кавказских минеральных вод (составлена Северной минераловодской партией МГРИ, 1941 г.).

1 – области поверхностного распространения палеогеновых и неогеновых отложений; *2* – верхнемеловые отложения; *3* — нижнемеловые отложения; *4* — трахилипариты; *5* – изолинии кровли верхнемеловых отложений; *6* — главнейшие сбросы; *7* — флексуры и складки; *8* — ось Невинномысской антиклинали; *9* — ось Беломечетинской синклинали.

Термические купола на карте (фиг. 8) совпадают с выходами меловых пород или трахилипаритов.

Так как структурная карта сделана довольно обстоятельно и средняя геотермическая ступень является довольно надежной, карта геоизотерм отражает близкие к действительности геотермические условия подошвы водоносного горизонта верхнего мела. Отклонения показанных температур от действительных навряд ли превышают 5—6°, а эта точность достаточна для генетических суждений о природе терм.

Карта геоизотерм показывает, что в связи с погружением меловых пород на север и северо-восток, а также в связи с внутренними крупными структурными элементами района — поперечным тектоническим поднятием Кавминводской моноклинали, спокойной сравнительно

На фоне этой второй термической зоны выделяются аномальные термические участки, где температуры вод, вытекающих через источники, хотя и довольно высоки, но, за исключением Железноводска, повсюду находятся ниже температур меловых вод на подошве верхнего мела. Более низкие температуры этих вод, питающихся из известняков мела или проходящих через эту термическую зону с более низких глубин, следует объяснить, понятно, охлаждением терм по пути их движения через верхние менее высокие термические зоны. Охлаждение может вызываться как слабой мощностью многих восходящих струй, когда они успевают терять свое тепло по пути движения вверх, так и медленным движением вверх мощных струй. Основываясь на гидрогеологических условиях района и лакколитов, для большинства терм следует принять последнее объяснение. Отсюда мы приходим к очень важному выводу о значительной «застойности» минеральных вод ниже зоны их дренирования.

При анализе генезиса солевого состава вод и газонасыщенности их этот вывод необходимо учитывать; он позволит правильно объяснить вопросы соотношения в водах различных элементов, а также вопросы различной минерализации вод в тех и других участках месторождений и, наконец, вопросы метаморфизма солевого состава вод.

Мы уже отметили выше, что в тех местах района, где минеральная вода вытекала только в прежние, прошедшие этапы геологического времени, высоких термических аномалий не должно быть; но это не значит, что ниже уровня дренирования тех «отмерших» источников вода не сохранилась, хотя и охлаждена или даже разбавлена до какой-то глубины верхними водами. Как раз к третьей следующей зоне температур, еще более высоких, достигающих 65—75° С, относится один из таких лакколитов района, где прежде восходили термальные минеральные источники, отложившие огромные поля туфов. Это лакколит горы Лысой. Сюда же можно отнести лакколит горы Змеевой, где обнаружены остатки травертинового поля и слабый сероводородный источник. На горе Лысой и теперь еще продолжают подниматься струйки минеральной воды в одном из сильно опресненных источников вблизи местного магмотектонического нарушения [7]. Следовательно, основываясь даже только на геотермическом материале, мы можем предполагать на лакколитах этой зоны присутствие высокотермальных минеральных вод. Тоже, на основании геотермических данных исследований прежнего действия термальных вод, можно сказать и о большинстве других лакколитов, что, впрочем, отмечено раньше. Соотношения напоров термальных вод этой зоны и более низкотемпературных зон района приводят к выводу, что прекращение и ослабление действия многих минеральных источников на лакколитах во многом связаны с естественным засорением трещин выпадающим в породах карбонатом кальция уже на больших глубинах. Следы такого самозакрытия («склероза») трещин прослеживаются повсюду в обнажениях этих гор.

Самая высокая предполагаемая температура (зоны подошвы верхнего мела) занимает восточную часть района. Здесь температуры известняков и вод, находящихся в них, вероятно, достигают 80—95° С. Буровыми скважинами эти воды еще нигде не вскрыты, как и не вскрыты воды предыдущей зоны. Между тем вывод термальной воды в городах северной части района КМВ имеет бы большое хозяйственное значение. В частности, в районе железнодорожной станции «Минеральные воды» эти воды можно вывести из верхнего мела с температурой от 60 до 70° С, при этом здесь они будут иметь щелочной характер, т. е. будут представлять большую хозяйственную ценность. Дебит их будет огромный; вода будет иметь самоизлив.

Таким образом, карта геоизотерм района (фиг. 8), несмотря на ее схематичность, является серьезной базой для выяснения многих вопросов генезиса и геохимии глубоких вод района.

Пользуясь этой картой и разрезом мощностей нижележащих горных пород района, можно судить о температуре более глубоких его водоносных горизонтов, в частности титонского, и валанжинских известняков. Так, для кровли титона следует к каждой изотерме прибавлять примерно 25°. Отсюда можно судить, что в северной части района воды валанжина имеют чрезвычайно высокие температуры, превышающие, например для валанжина, на северо-востоке более 100° С. В районе центральной группы лакколитов (Машук, Железная, Бештау) температура известняков валанжина и вод, в них циркулирующих, достигает 70—80° С. Отсюда можно судить, что лечебные термы, повидимому, меньше связаны с этими глубинами.

При анализе геотермических условий района КМВ мы обошли вопрос о температурных условиях недр Кисловодска, так как для этой части района КМВ карта геоизотерм не составлена. Но пользуясь самой низкой, из наиболее вероятных, геотермической ступенью для участка Кисловодска, простым расчетом приходим к выводу, что сульфатный Кисловодский нарзан может приобрести температуру 17.5° С на глубине не менее 400—450 м, т. е. только в недрах кристаллического массива, подстилающего титонские и валанжинские отложения Кисловодска. В таком случае температуру 18.2° С, встреченную в буровой скважине № 9 Кисловодска на глубине 455.5 м в кристаллических сланцах, нужно объяснять тепловыми токами еще больших глубин. Отсюда определяются и некоторые вопросы генезиса Кисловодского нарзана и присутствие вблизи его отложений травертинов, выпавших из термальной воды. Следует заметить, что почти все травертины района и Кисловодска высокотермальные (аррогониты). Это подтвердил и А. Е. Ферсман, просмотревший образцы, собранные нами, а также посетивший с нами в 1940 г. несколько травертиновых полей. Охлаждение воды каптажного колодца Нарзана происходит в результате примешивания к ней холодных (или во всяком случае менее теплых) вод из титонских мощных отложений, валанжинских известняков и других пород. Выше отмеченное различие геотермических ступеней и термических аномалий в Кисловодске, вблизи каптажного источника, объясняется циркуляцией в трещинах валанжина как термальных, неодинаково по пути движения разбавляющихся вод, так и верхних пресных вод валанжинских известняков, подступающих к каптажному колодцу с повышенных мест области метеорного питания этого горизонта. Более подробно данные геотермического изучения Нарзана и других месторождений минеральных вод КМВ мы используем в других заканчивающихся работах по этому району.

Анализ данных по геотермическим условиям недр рассмотренной области Кавказа особенно важен при истолковании физико-химических процессов, происходящих между водой и горной породой в тех и других водоносных горизонтах района. Естественно, что в условиях высокого

теплового режима этих горизонтов данные процессы протекают иначе, чем в обычных температурных условиях. Особый интерес приобретает анализ газового фактора вод в условиях высоких температур на больших глубинах района, тем более анализ формирования биогенных газов. Для этих процессов «запретны» участки с тепловым режимом выше 70—80° С, т. е. северные.

В общем, анализ геотермических условий района позволяет рассматривать основные его водоносные толщи как области активного формирования минеральных вод, если исходить даже только из одних температурных признаков.

Неясным остается вопрос о тепловом влиянии на геотермические условия района тепла, выделяемого непосредственно молодыми магматическими породами. Буровые геотермические наблюдения слишком еще недостаточны для освещения этого вопроса. Можно лишь говорить о том, что молодые вулканические породы участвуют в тепловом балансе недр, но, повидимому, только на значительных глубинах ниже всей толщи осадочных пород, где с их тепловым влиянием связано образование углекислоты минеральных источников. В осадочной толще эти вулканические ядра района успели приобрести температуру окружающих пород, хотя в период внедрения, вероятно, сыграли немалую роль в общем повышении теплового баланса недр района. О быстром, сравнительно, остывании этих пород, выдвинувшихся, по существу, уже изрядно остывшей вязкой магмой, свидетельствуют небольшие размеры лакколитовых ядер.

Геотермические условия района нельзя назвать особенно высокими. Те рассмотренные ранее исключительно высокие геотермические ступени распространяются, судя по всему, неглубоко и характеризуют только участки выхода минеральных вод, создавших быстрое нарастание температур почти с поверхности, благодаря выносу тепла с нижних горизонтов. Ниже, как следует из материалов, температуры нарастают медленнее. Геотермическая ступень, даже в скважинах под источниками, по данным анализов будет в среднем значении приближаться к ступеням структурной буровой скважины в Горячеводске. То же самое можно сказать в отношении общих геотермических условий Кисловодска.

Ступени, подобные кисловодским (нормальным), обычны для горных областей, где они всегда несколько понижены [1, 3, 4, 5, 15]. Ступень скважины на разъезде «Золотушка» является довольно повышенной для районов с полого-падающими осадочными породами. Еще более повышена ступень структурной буровой скважины в Горячеводске. Может быть, здесь сказывается влияние мощного теплового очага Машукских вод. Вместе с тем они далеко уступают геотермическим ступеням некоторых, например, угольных или нефтяных месторождений, для которых величины 15—20 м/° С и меньше являются обычными (Грозный 6—12 м/° С, Баку и др.).

В целом, район Кавминвод следует отнести к группе районов с повышенными геотермическими условиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Бергер. О связи между геотермической ступенью и теплопроводностью пород. Изд. Стеклография ЛГИ, 1933 (перевод).
2. А. П. Герасимов. Геологическое строение Минераловодского района, кристаллические породы северных лакколитов Пятигорья. Тр. ЦНИГРИ, I, 1935.
3. Дехтярев. Геотермические измерения в скважинах города Харькова. Изд. Стеклография ЛГИ, Л., 1933.

4. С. Красковский. Геотермические измерения в буровых скважинах — геотермические измерения в Москве. Тр. ЦНИГРИ, № 8, 1934.
5. С. Красковский. Изв. Акад. Наук СССР, сер. геогр. и геофиз., № 5, 1940.
6. А. В. Клоссовский. Основы метеорологии, III изд., Одесса, 1918.
7. Ф. А. Макаренко. Комплексные гидрогеологические работы на Кавказских минеральных водах. Пятигорская правда, 1940, № 254.
8. А. Н. Огильви. Каптаж Нарзана и его история. Тр. Геол. ком., нов. сер., вып. 58, 1911.
9. А. Н. Огильви. Термометрия как метод гидрогеологических исследований. НКТП, Геолиздат, Москва, 1932
10. Оболенский. Основы метеорологии. Сельхозиздат, 1933.
11. Ф. П. Саваренский. Инженерная геология. ГОНТИ, 2-е изд., 1939.
12. Н. Н. Славянов. Железноводск. Разведка 1912—16 г. Фонды Бальн. инст. в Пятигорске.
13. А. Стопневич. Геотермические измерения. Изуч. Сев. Кавказа, вып. 2, 1912.
14. А. Стопневич. Геотермические измерения в скважинах Ставропольской губернии, Изв. Акад. Наук, 1918.
15. Ганс Хефер. Глубинные температуры по наблюдениям в угольных копях. Изд. Ленингр. Горн. инст., 1933.

Н. В. ТАГЕЕВА

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ ДЖЕРМУК (ИСТИ-СУ) В АРМЕНИИ

В октябре 1940 г. Комиссией по минеральным водам Академии Наук СССР была направлена в Армянскую ССР экспедиция для геохимического изучения минеральных вод курорта Джермук. Во время поездки были произведены некоторые исследования на месте и собран материал для подробного геохимического изучения вод в лабораторных условиях.

В этом очерке приводятся общие сведения о курорте Джермук и его водах, результаты некоторых полевых гидрохимических определений, состав газов, свободно выделяющихся из минеральных вод, а также результаты определений некоторых микроэлементов (фтора, бора, иода).

Минеральные источники Джермук (Исти-су) расположены в юго-восточной части Армянской ССР в Азизбековском районе в горной местности, в 12 км от границы с Азербайджаном, где за перевалом через Конгуро-Алагезский хребет находятся известные азербайджанские источники того же названия (Исти-су).

Река Восточный Арпа-Чай, в верховьях которой находится курорт Джермук, берет начало в восточной части южного склона Южно-Гегамского хребта, прорезывая свою долину глубоким ущельем между высотами Конгуро-Алагезского хребта на востоке и водораздельным массивом, отделяющим долину Восточного Арпа-Чай от его притока Алагеза, на западе.

Термальные источники Джермук расположены на высоте около 2000 м в самой долине р. Арпа-Чай, в 20 км ниже ее истоков. Место это отличается красотой дикого горного ландшафта. На север вид замыкается горами во главе с самой высокой вершиной этого района Гезель-Дара (3537 м). Арпа-Чай имеет бурное течение, ширина русла около 10—15 м, узкая пойменная полоса заросла кустарниками и деревьями. Горные склоны поднимаются до высоты нескольких сотен метров; они покрыты полукустарниковым дубовым лесом, пастбищными лугами и местами осыпями и скалами.

По исследованиям К. Н. Паффенгольца [1] (1927) весь этот район был в третичном и четвертичном периодах местом сильной вулканической деятельности и сложен исключительно эффузивными породами базальтового типа. Олигоценовые андезито-базальтовые лавы и туфы являются тут наиболее древними известняковыми породами, слагающими склоны древней долины Арпа-Чай.

В месте нахождения источников Джермук эти породы выходят на поверхность только по левому склону долины. Правый склон сложен более молодыми четвертичными лавами двух излияний, которые надви-

[1] Неопубликованный отчет в Геолог. управл. Армении в Ереване.

нулись и заполнили более древний рельеф. В месте нахождения источников Джермук ранние четвертичные лавы слагают верхнюю часть правого склона древней долины Арпа-Чай, а более молодые четвертичные излияния заполнили внутреннюю часть ее и образовали лавовое плато шириной около 1 км. На этом лавовом плато, на высоте около 2100 м, у правого склона долины расположено сел. Исти-су. Тут же, в расстоянии 0.5 км на северо-восток от селения, из склона выбивался (до бурения 1940 г.) довольно сильный теплый минеральный источник, в естественной ванне которого купалось население с незапамятных времен. Здесь же имеется несколько более слабых выходов воды и газа.

Недалеко, в северо-восточном направлении, на лавовом плато находится кратер четвертичного вулкана. К. Н. Паффенгольц указывает также несколько центров недавнего излияния в северо-западном направлении от источников.

Современная долина Арпа-Чая прорезает четвертичные базальтовые массы в виде глубокого ущелья, и таким образом ровная поверхность лавового плато резко обрывается в ущелье реки, ширина которого не больше 30 м. Склоны ущелья поднимаются в виде скал, местами в них видны пещеры и арки — следы прежнего размыва рекой и ее боковыми притоками, спадающими с базальтового плато в виде бурных потоков и водопадов.

В глубине ущелья у самой реки расположена вторая группа минеральных источников (нижняя). С незапамятных времен население Армении и Азербайджана пользуется водами Джермук. На правом склоне долины над верхним источником у сел. Исти-су сохранились остатки древних армянских надписей, указывающие, что здесь уже тогда лечились водами. Остатки старинной каменной ванны сохранились у группы нижних источников. И теперь каждое лето сюда стекаются сотни людей; вся поверхность лавового плато покрывается палатками приезжих, которые купаются в целебной воде.

В начале 1930-х гг. здесь началось строительство Наркомздравом Армении. В настоящее время на краю лавового плато над ущельем реки построено большое каменное здание санатория. Внизу в ущелье находится законченное весной 1940 г. каменное ванное здание. В 1940 г. прошел первый курортный сезон, в течение которого работало и ванное помещение.

Первые данные о минеральных водах Джермук были получены от геолога В. Котляр (1926), затем в 1928 г. их посетил химик Медникян и в 1929 г. Э. Э. Карстенс. [1]

По их описанию, главный верхний источник сильно газировал и, выбиваясь из базальтной скалы, стекал в углубление — ванну, сделанную в его травертиновых отложениях. Этой ванной до сих пор широко пользуется население, хотя со времени бурения в 1940 г. источник замер; вода в ванну подается теперь по трубе у скважины № 9.

Нижних источников было 10, теперь часть из них уничтожена бурением и строительством.

По данным 1926—1929 гг. температура главного верхнего источника была 40° С, дебит около 35 тыс. л/сутки. Суммарный дебит нижних источников около 17 тыс. л/сутки, температура от 32 до 49° С. По исследованиям Э. Э. Карстенс, верхний источник относится к типу углекисло-глауберово-землистых терм, а нижние источники к углекисло-глауберово-щелочным термам.

[1] О. Карапетян. Мат. по геол. и гидрол. Армянской ССР, вып. 3, 1938.

Несколько лет тому назад в Джермуке инженером А. П. Демехиным производилось геолого-разведочное бурение на минеральную воду, и естественные выходы вод утратили свое значение, так как из буровых скважин получена в большом количестве горячая минеральная сильно газирующая вода, которая и обслуживает курорт.

В 1938 г. были заложены скважины в средней части левого склона долины над группой нижних источников, на высоте 25—30 м над рекой. В настоящее время здесь сохранились две переливающие скважины с большим дебитом.

Скважина № 1, пройдя в рыхлых вулканических наносах до глубины 13 м, встретила горячую воду. Глубина скважины 17 м. Температура воды 55.4° С при температуре воздуха 14.1° С. Вода поступает из обсадной трубы, бурля от сильного выделения газов и фонтанируя на 10—15 см высоты, и стекает по жолобу в деревянный бассейн, откуда передается по водопроводу в ванное помещение, имея температуру около 50° С. Дебит скважины № 1 в октябре 1940 г. был 185 тыс. л/сутки; в 1938 г. он достигал 300 тыс. л/сутки. На несколько метров выше по склону долины находится скважина № 4; глубина ее 40 м. До глубины 2.6 м скважина шла по наносному материалу, а затем вошла в базальты. Температура воды 52.6° С при температуре воздуха 15° С. Дебит 193 тыс. л/сутки. Скважина слабо пульсирует. Вода обеих скважин отлагает железистые травертины, которые образуют бурые корки и покрывают все русло потоков желтоватым осадком.

В августе 1940 г. было начато бурение у правого склона долины на несколько метров ниже главного источника у сел. Исти-су. Здесь сначала воду дала скважина № 7а, расположенная совсем близко к естественному источнику. Скважина прошла по трещине в рыхлом вулканическом материале. Вскрытая вода имела сначала температуру 56° С, затем 61.4° С, затем температура стала падать и в октябре была 55° С при температуре воздуха 14° С.

Наибольший интерес представляет скважина № 9, бурение которой закончилось 6 сентября 1940 г. Она заложена в нескольких метрах к западу от скважины № 7а, на небольшой площадке каменистого склона в базальтовой лаве. Скважина почти сразу вошла в сиенито-диоритовую интрузию и на глубине 18 м дала фонтан, бивший на высоту 20 м. Температура воды была 61° С. Затем на глубине 23 м был вскрыт второй водный горизонт. Температура воды — 63.9° С; она пересыщена углекислотой и карбонатами. Дебит 400 тыс. л/сутки. Бурный горячий ручей стекает от скважины по склону, осаждая на своем пути железистые травертины.

Интересна последовательность в травертиновых отложениях. Вниз по течению ручья можно различить четыре зоны их в зависимости от температуры стекающей воды. Чем выше температура, т. е. чем ближе к устью скважины, тем более плотен и более темно окрашен осадок, благодаря большему содержанию железа. У самого устья скважины, где непрерывно происходит выделение углекислоты, т. е. там, где затруднено соприкосновение с кислородом воздуха, отлагаются плотные зеленоватые травертины; окраска их зависит от присутствия закисного железа.

Воды Джермук (Исти-су) принадлежат к типу углекисло-щелочных терм, содержащих в значительном количестве сернокислый и хлористый натрий (см. анализ Э. Э. Карстенс, табл. 1), и близки к карлсбадским водам.

Свободно выделяющиеся и растворенные газы представлены почти чистой углекислотой.

Приводим состав спонтанных газов скважин № 1 и № 9.

Таблица 1

Состав спонтанных газов минеральных вод Джермук (Исти-су)

№ скважины	Объемные %				
	CO_2	O_2	Na + + редк. газы	Ar	He
1	99.8	—	0.2	0.007	0.001
9	99.8	—	0.2	0.006	0.001
Выход газа из земли у скв. № 9	98.8	—	1.2	0.023	0.001

Таблица 2

Анализ воды источника Джермук (Исти-су)

Вода для анализа набрана 10 июня 1927 г. На месте были произведены поглощение газа и определение железа. Температура источника 52.7° С. Дебит источника в сутки 500 000 л (40 600 вед.). Анализ производил Э. Э. Карстенс

I. Ионная таблица

В 1 литре воды	г	Миллимолей	Мг-экв.
Катионов:			
Иона лития Li	0.0003	0.0479	0.0479
» калия K	0.1152	2.9425	2.9425
» натрия Na	1.5847	68.7505	68.75
» кальция Ca	0.1657	4.1425	8.275
» магния Mg	0.04243	1.7418	3.483
» железа Fe	0.000579	0.1034	0.2068
» марганца Mn	0.00085	0.01545	0.0309
» цинка Zn	0.000177	0.002700	0.00541
Сумма	—	—	83.75
Анионов:			
Иона хлора Cl′	1.0286	29.0155	29.015
» брома Br′	0.00102	0.01275	0.01275
» иода J′	0.000153	0.00121	0.00121
» сульфатного SO_4''	0.6286	6.5438	13.0876
» гидрофосфатного HPO_4''	0.00042	0.004375	0.00875
» гидромышьякового $HAsO_4''$	0.000284	0.00203	0.00406
» гидрокарбонатного HCO_3'	2.5387	41.618	41.618
Сумма	—	—	83.75
Кремневой кислоты SiO_2	0.1573	2.0063	—
Свободной двуокиси углерода CO_2	0.7310	—	—

Кроме того, в следах: алюминий, стронций, барий, медь, никель, борная и титановая кислоты и органические вещества.

Таблица 2 (Продолжение)

II. Комбинация составных частей

(Во втором столбце для сравнения помещен анализ Карлсбадского Шпрудель

	Джермук (Исти-су)	Шпрудель (Карлсбад)
Время набора и исследование источников	Июнь 1927 г.	1910 г.
Температура источников, ° С	52.7	71
Дебит в сутки, л	500 000	2 448 000
Аналитик	Э. Э. Карстенс	Э. Людвиг
	В 1 000 см³ воды грамм:	
Хлористого калия KCl	0.2195	
» натрия NaCl	1.5253	0.1625
Бромистого натрия NaBr	0.00131	0.8500
Иодистого натрия NaJ	0.000181	0.0028
Сернокислого натрия Na_2SO_4	0.9302	0.00004
Двууглекислого натрия $NaHCO_3$	2.4857	2.3959
Двууглекислого лития $LiHCO_3$	0.0032	2.0517
Мышьяковокислого кальция $CaHAsO_4$	0.000364	0.0223
Фосфорнокислого кальция $CaHPO_4$	0.000593	0.0002
Двууглекислого кальция $Ca(HCO_3)_2$	0.6697	0.0004
» магния $Mg(HCO_3)_2$	0.2548	0.4922
» железа (закиси) $Fe(HCO_3)_2$	0.0184	0.2627
» марганца $Mn(HCO_3)_2$	0.00178	0.0048
» цинка $Zn(HCO_3)_2$	0.00034	0.0007
Кремневой кислоты (SiO_2)	0.1573	0.0002
Сумма твердых составных частей	6.2634	0.0939
Свободной двуокиси углерода CO_2	0.7310	6.3524
Сумма всех составных частей	6.9944	0.4081
		6.7605

Содержание радона в водах Джермук — ничтожное; оно определялось автором циркуляционным методом в электрометре Шмидта из объема 500 мл воды. В буровой № 1 — 0.67 МЕ, в буровой № 7а — 0.63 МЕ в буровой № 9 — 0.52 МЕ.

По составу свободно выделяющихся газов минеральные воды Джермук являются типичными для районов недавней вулканической деятельности.

Окисляемость вод Джермук очень невелика, так как при титровании их 10 *n* раствором перманганата обнаружить ее не удалось; она повидимому, может быть связана с окислением железа, содержание которого в растворе ничтожно. Таким образом, воды Джермук являются горячими струями, пересыщенными углекислотой и карбонатами и почти свободными от органического вещества. Интересно было бы исследовать их на содержание микроорганизмов.

Элементы фтор и бор характерны для вод, связанных с недавним вулканизмом. В литературе вообще имеется мало данных о содержании этих элементов (в особенности фтора) в минеральных водах; кроме того, из числа имеющихся данных нужно исключить более ранние определения, так как за последнее время в гидрохимию введены новые, гораздо более точные методы определения этих элементов. Эти соображения сделали особенно желательным определение фтора и бора в водах Джермук. Мною выполнены эти определения не только для Джермук, но и для некоторых других источников, связанных с молодым вулканизмом Кавказа (Боржоми, Славяновский, Смирновский). Ниже приведены данные о содержании фтора и бора в водах Джермук (Исти-су) и в водах других источников [1] (табл. 3).

Таблица 3

Содержание фтора и бора в минеральных водах Джермук и некоторых других источников Кавказа

Название источника	F (г/л)			
	С осаждением SO_4''		С перегонкой	Среднее
	1	2	3	
Джермук (Армения)				
Скважина № 1	2.15×10^{-3}	2.06×10^{-3}	2.01×10^{-3}	2.07×10^{-3}
Скважина № 9	2.38×10^{-3}	2.19×10^{-3}	2.13×10^{-3}	2.23×10^{-3}
Боржоми	3.40×10^{-3}	3.62×10^{-3}	—	3.51×10^{-3}
Смирновский	1.83×10^{-3}	1.99×10^{-3}	—	1.91×10^{-3}
Славяновский	1.81×10^{-3}	—	—	—

Название источника	B (г/л)		
	С осаждением SO_4''		Среднее
	1	2	
Джермук (Армения)			
Скважина № 1	8.27×10^{-3}	8.09×10^{-3}	8.18×10^{-3}
Скважина № 9	9.35×10^{-3}	10.07×10^{-3}	9.71×10^{-3}
Боржоми	9.35×10^{-3}	9.17×10^{-3}	9.26×10^{-3}
Смирновский	0.84×10^{-3}	1.01×10^{-3}	0.92×10^{-3}
Славяновский	1.71×10^{-3}	—	1.71×10^{-3}

Фтор определялся из 200 мл воды путем колориметрического титрования по циркон-ализариновому методу J. Boer,[2] разработанному Н. Левенфиш[3] и В. Шведовым,[4] с предварительным осаждением сульфатов; проверка производилась контрольным определением с предварительной перегонкой фтора по Willard и Winter[5] в виде SiF_4 с образованием в присутствии воды H_2SiF_6. В настоящее время этот метод по своей

[1] Пробы брались из продажной минеральной воды.
[2] J. Boer and J. Basart. Ztschr. Anorg. Chem., 152, 213, 1926.
[3] Н. Левенфиш. Диссертация. Центр. научно-исслед. сол. лабор., Л., 1937.
[4] В. Шведов. Журн. прикл. химии, 1936, № 12.
[5] Ind. a. Eng. Chem. An. Ed. 5, 7, 1933.

Содержание фтора, бора и иода в угл.

№ п/п.	Название источника	t °C	Минерализ. г/л	Г/л F	Г/л B	Г/л J	% от минерализации F	% от минерализации B	% от минерализации J	Мг-ионов на 100 г сух. ост. F′	Мг-ионов на 100 г сух. ост. B_4O_7''	Мг-ионов на 100 г сух. ост. J′	Автор
	Джермук (Армения)												
1	Скважина № 1	55.4	3.28	2.07×10^{-3}	8.18×10^{-3}	3.0×10^{-5}	6.31×10^{-2}	2.50×10^{-1}	9.15×10^{-4}	3.32	5.77	7.2×10^{-3}	Тагеева; 1941
2	Скважина № 9	63.9	6.63	2.23×10^{-3}	9.71×10^{-3}	3.3×10^{-5}	6.14×10^{-2}	2.67×10^{-1}	9.09×10^{-4}	3.23	6.17	7.0×10^{-3}	» 1941
	Исти-су (Азербайджан)												
3	Источник 3, верхний	54.5	4.62	—	5.11×10^{-2}	1.9×10^{-4}	—	1.11	—	—	25.61	—	Эффендиев, 1939 [2]
4	Источник 18, Богырсах . . .	14	6.22	—	8.57×10^{-3}	3.1×10^{-5}	—	1.38×10^{-1}	—	—	3.18	—	То же
5	Боржоми (Грузия) [1]	28	4.21	3.51×10^{-3}	9.26×10^{-3}	4×10^{-4}	8.33×10^{-2}	2.20×10^{-1}	9.5×10^{-3}	4.38	5.08	7.4×10^{-2}	Карстенс, 1917 [3] Тагеева, 1941
	Кавк. Минеральные воды												
6	Славяновский	55	3.55	1.81×10^{-3}	1.71×10^{-3}	—	5.10×10^{-2}	4.82×10^{-2}	—	2.68	1.11	—	Бунеев, 1938 [4]
7	Смирновский	40.1	3.17	1.93×10^{-3}	9.24×10^{-4}	—	6.03×10^{-2}	2.91×10^{-2}	—	3.17	6.7×10^{-1}	—	» 1938 [4]
8	Кисловодск, бур. скв. 12 . .	14.9	3.88	—	1.4×10^{-3}	6×10^{-5}	—	3.61×10^{-2}	1.54×10^{-3}	—	8.3×10^{-1}	1.2×10^{-2}	» 1938 [4]
9	Березовская балка, бур. скв.	9.6	3.64	—	1.87×10^{-2}	2×10^{-4}	—	5.13×10^{-1}	5.49×10^{-3}	—	12.64	4.3×10^{-2}	» 1938 [4]
10	Быкогорский	20.8	1.00	—	1.7×10^{-3}	2.6×10^{-4}	—	1.70×10^{-1}	2.60×10^{-2}	—	4.06	2.0×10^{-1}	» 1938 [4]
11	Долина нарзанов, ист. Хасаут [3]	10.7	3.34	—	6.5×10^{-3}	8×10^{-4}	—	1.94×10^{-1}	2.39×10^{-2}	—	4.48	1.9×10^{-1}	» 1938 [4]
12	Sprudel (Karlsbad)	71.7	6.35	2×10^{-3}	6.7×10^{-4}	3×10^{-5}	3.15×10^{-2}	1.06×10^{-2}	4.72×10^{-4}	1.66	25×10	3.7×10^{-3}	Ludvig, 1910 [5]
13	Chomel (Vichy)	43.3	5.05	5.4×10^{-3}	2.5×10^{-2}	Следы	1.07×10^{-1}	3.47×10^{-2}	—	23.32	80×10^{-1}	—	Urbain, 1925 [6]
14	Ulrichsquelle, Val. Sinestra (Швейцария)	8.3	5.61	—	2.49×10^{-2}	—	—	4.43×10^{-1}	—	—	10.19	—	Hartmann, 1927 [7]

простоте и точности является наилучшим для определения фтора в минеральных водах.

Бор определялся из 50—100 мл воды методом колориметрического титрования по Foote, который был мною разработан в 1933 г.[8]

Еще неясна картина распространения и происхождения в водах иода и брома, связанных с вулканизмом; в то время как хлор присутствует в этих водах в довольно значительном количестве (10^{-1}—10^{-2} г/л Cl), содержание иода и брома обычно небольшое. В настоящее

[1] Минерализация, содержание J и t Боржоми даны для Екатерининского источника по Карстенс.
[2] Г. Эффендиев. Тр. Инст. геол. им. Губкина, 1939.
[3] О. Огильви и А. Овчинников. Междун. геол. конг., XVII сесс., 1937. Экск. по Кавказу. Грузинск. ССР.
[4] Н. Бунеев. Неопубл. мат. Всес. инст. курортол. Москва, 1938.
[5] Э. Карстенс. Кавказские мин. воды. Пятигорск, 1925.
[6] P. Urbain. Congr. Intern. des Mines, VII Sess., 1935, sec. géol., appl. II.
[7] A. Hartmann. Vierteljahrschr. Naturf. Ges. in Zürich. № 1—2, S. 273, 1927.
[8] Н. Тагеева. Журн. прикл. химии, 1934, № 3.

кислощелочных минеральных водах

Таблица 4

время одной из интереснейших задач гидрохимии является накопление материала в этой области, однако универсальная методика определения малых количеств этих элементов в природных растворах еще не выработана, и материал очень беден.

В табл. 5 приведено содержание иода в водах Джермук по моим определениям.

Таблица 5

Содержание иода в минеральной воде Джермук (Исти-су)

№ скважины	J (г/л) 1	J (г/л) 2	J (г/л) Среднее
1	3.3×10^{-5}	2.6×10^{-5}	3.0×10^{-5}
9	3.2×10^{-5}	3.6×10^{-5}	3.4×10^{-5}

Иод определялся из 500 мл воды с предварительным окислением иодида в иодат перманганатом и последующим иодометрическим определением иода [1].

В заключение приведу некоторые наиболее достоверные сравнительные данные для минеральных вод типа Джермук, т. е. углекисло-щелочных, связанных с недавним вулканизмом (табл. 4).

Из трех элементов — фтора, бора и иода — наиболее постоянным по содержанию в этого типа водах является фтор. Нужно отметить, что фтор, так же как и бор, в водах, связанных с вулканизмом, играет гораздо более существенную роль, чем это полагали до сих пор. Количество его, как видим из таблицы, в среднем из семи образцов составляет 2.7×10^{-3} % на литр и 6.54×10^{-2} % от минерализации раствора, при крайних колебаниях от 1×10^{-10} до 3×10^{-2} %. Количество бора в среднем из 14 минеральных вод составляет 2.47×10^{-1} % от минерализации раствора, при крайних колебаниях от 1 до 1×10^{-2} %. Содержание иода 8.59×10^{-3} % из 8 образцов при крайних колебаниях от 3×10^{-2} до 5×10^{-4} %.

Интересно, что по количеству мг-ионов на 100 г сухого остатка, предполагая, что бор в этих щелочных водах образует ион B_4O_7'', количество фтора и бора почти тождественно; среднее содержание F' 5.98; B_4O_7'' 5.77; J' 6.71×10^{-2}. Таким образом, фтор и бор можно соединить в одну группу, характерную для углекисло-щелочных вод, связанных с вулканизмом. Эта группа может служить одним из руководящих признаков при классификации природных вод.

[1] Н. Тагеева. Тр. Ломонос. инст. Акад. Наук СССР, вып. 4, 1934.

М. М. ФОМИЧЕВ

ЧОКРАКСКИЕ СЕРОВОДОРОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Курорт Чокрак расположен в северо-восточной части Керченского полуострова, в 1.5 км от берега Азовского моря и в 18—20 км от г. Керчи. Основан курорт в 1859 г. Лечебными факторами его являются грязь и рапа Чокракского озера и крепкие сероводородные минеральные источники, а также море и солнце.

Общий характер местности — степной. Имеются лишь редкие древесные насаждения в населенных пунктах и на курорте.

Запасы грязи Чокракского озера были разведаны в 1932 г. инженером Н. С. Пчелиным и определены в части озера, принадлежащего курорту, в 384 955 м³, а для всего озера в 2 834 955 м³. Суммарный дебит сероводородных источников достигал цифры 25 тыс. л в сутки.

В целях выяснения возможности получения минеральной воды для курорта, Центральным институтом курортологии были организованы в 1937 г. гидрогеологические исследования минеральных источников под руководством автора.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Ближайшие окрестности курорта Чокрак сложены третичными породами, начиная с верхнего олигоцена и кончая рудными и надрудными слоями.

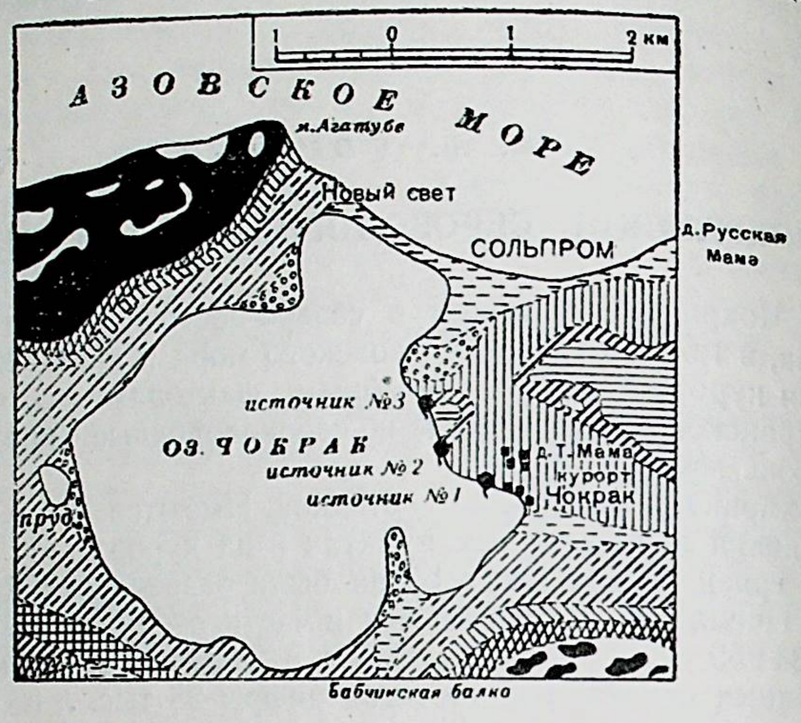
В строении района, к которому приурочены выходы источников, принимают участие породы майкопской свиты и чокракского и караганского горизонтов (фиг. 1).

Майкопская свита — $Pg_3 + N_1^1$ представлена темными, почти черными глинами. Глины эти наощупь пластичные, жирные. Они содержат пирит в виде мелких, рассеянных стяжений и конкреции сидерита. При выветривании майкопские глины приобретают характерный для них шоколадно-лиловатый оттенок; при этом начинают отчетливо выделяться тонкие прожилки и налеты ярозита.

Во всех скважинах эти глины характеризуются резко выраженным запахом нефти. Микроскопическое описание майкопских глин дано А. Д. Архангельским: «Изучая породу под микроскопом, на поперечных разрезах можно видеть, что она обладает чрезвычайно тонкой слоистостью, обусловливаемой чередованием глинистых полосок с тончайшими прерывающимися прожилками темного сапропелитового вещества. При выветривании эта микрослоистость проявляется в характерном для майкопских глин расслаивании на тонкие, как бумага, листочки. Микроскопическое исследование показывает, что глины заключают всегда большее или меньшее количество микроскопических шариков и конкреций

пирита, который местами образует и довольно крупные желваки. Присутствие этого минерала объясняет нам обилие гипса, наблюдающееся нередко в глинах».

А. Д. Архангельский указывает, что «по своим литологическим и палеонтологическим признакам майкопские глины вполне тождественны с



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

Фиг. 1. Схематическая геологическая карта района курорта Чокрак (масштаб 1 : 50 000). (По А. Д. Архангельскому)

1 — береговые пески, лёссовидные суглинки, отложения Чокракского озера (Q_2); *2* — Каспийская и Средиземноморская террасы (Q_1^m); *3* — меотис (N_1^6); *4* — рифы верхнего сармата и меотиса (N_1^{7-6}); *5* — верхний сармат (N_1^7); *6* — средний сармат (N_1^6); *7* — глины верхнего и среднего сармата (N_1^{5-6}); *8* — конкский горизонт (N_1^4); *9* — караганский горизонт (N_1^3); *10* — чокракский горизонт (N_1^2); *11* — майкопская свита ($Pg_3 + N_1^1$); *12* — источники.

серыми глубоководными глинами Черного моря и, подобно последним, являются отложением, зараженным сероводородом глубин».

Данные по мощности майкопской свиты для северо-восточной части Керченского полуострова отсутствуют. Основываясь на данных, имеющихся для западной части его, можно полагать, что она достигает нескольких сотен метров.

На площади, охваченной детальной съемкой, майкопские глины выходят на дневную поверхность в северо-восточной части планшета. Здесь ими сложена, как упоминалось выше, антиклинальная долина. От этого основного поля майкопа отходит к западу, к северному крылу чокракской антиклинали, широкий «залив», в котором также выходят на

поверхность майкопские глины. Выход их в этом месте вызван тем, что угол склона поверхности здесь несколько круче падения слоев.

Кроме того в виде небольшого окна, майкопские глины выходят на дневную поверхность в небольшой впадине у берега озера между источниками № 1 и № 3.

Чокракский горизонт N_1^2. Чокракский горизонт представлен преимущественно известняками и песчаниками.

Известняки зеленовато-серого цвета, рыхлые. Содержат обильную фауну; они переходят часто в ракушечники, местами детритусовые. Нередко известняки обогащаются плоскими гальками плитчатых мергелей. Число галек становится иногда настолько значительно, что известняк переходит в конгломерат.

Песчаники чокракского горизонта также состоят преимущественно из мелких обломков раковин, так что в большинстве случаев они похожи на детритусовые известняки.

Среди известняков и песчаников нередко можно наблюдать прослои голубовато-зеленых плотных мергелей, содержащих, в свою очередь, мелкие прослои и линзы около 20 см мощности зеленых глин с гипсом. Мергели тяжелые зачастую переходят в конгломераты, обогащаясь плоскими гальками и валунами известняков.

К чокракским известнякам приурочены также небольшие (до 1 м в диаметре) рифовые образования мшанковых известняков, переплетенных трубками червей. Мшанковые известняки встречаются преимущественно в верхней части горизонта. Впрочем, они довольно часто попадаются и в толще известняков и песчаников.

Отчетливо выдерживается по всему рассматриваемому участку располагающийся в основании чокракских известняков прослой плотного зеленовато-серого мергеля мощностью до 0.75 м.

Контакт чокракского и майкопского горизонтов находится ниже этого прослоя плотного зеленовато-серого мергеля и выражен отчетливым прослоем тяжелой зеленовато-серой известковистой глины мощностью около 1 м. Этот прослой можно наблюдать в естественных обнажениях (близ источника № 3 и в береговом разрезе к востоку от дер. Мама-Русская). Кроме того, он был пересечен при разведке буровыми скважинами.

В верхней части в этих глинах попадается обильная чокракская фауна, обычно в виде плохо сохранившихся обломков. Книзу глины становятся немыми, теряя одновременно свою известковистость и зеленоватый оттенок, принимают буроватую окраску и постепенно переходят в майкопскую глину.

Контакт чокрака и майкопа хорошо можно наблюдать в упомянутом береговом разрезе к востоку от дер. Мама-Русская. Здесь к зеленовато-серым глинам приурочено большое количество трещин 5—7 см шириной, выполненных гипсом, образующим прожилки с перпендикулярно стоящими шестоватыми кристаллами. Некоторые из прожилков имеют по краям зальбанды либо кроваво-красного, либо серо-желтого цвета. Часть трещин выполнена целиком минералом серо-желтого цвета, повидимому ярозитом, имеющим местами натечную структуру. По самому контакту глин с известняками наблюдается еще большее обогащение гипсом.

Подошва чокрака представляет собою сплошную щетку кристаллов гипса.

Приблизительно та же картина наблюдается и в обнажении у источника № 3.

Верхняя часть чокракского горизонта представлена зеленовато-серыми известковистыми глинами, содержащими прослои в 10—15 см мощности мергелей, обычно весьма плотных, окремнелых. В фаунистическом отношении эти мергели и глины отличаются бедностью. Лишь в отдельных прослоях в мергелях встречаются *Spirialis*, часто в больших количествах. В глинах фауна не была встречена.

Переход от чокракского горизонта к караганскому совершенно незаметен. Его можно уловить только на основании появления в мергелях раковины *Spaniodontella*. В связи с этим мощность верхней глинистой части чокракского горизонта определить чрезвычайно трудно. Повидимому она равна 2—4 м.

Караганский горизонт — N_1^3. По своему петрографическому характеру караганский горизонт может быть подразделен на три части.

Нижняя из них представлена черными и темносерыми, книзу зеленовато-серыми, известковистыми, отчетливо слоистыми глинами. Преимущественно к этим слоям зеленовато-серых глин приурочены прослои плитчатых, иногда окремнелых плотных, иногда рыхлых, марающих мергелей мощностью от нескольких сантиметров до 0.75—1 м. В мергелях часто содержится в большом количестве *Spaniodontella*. Мощность описанных глин колеблется от 6 до 7 м. От верхней, также глинистой части карагана они отделяются слоем серых и желтовато-серых, весьма твердых неслоистых известняков, мощность которых колеблется в пределах от 2.5 до 4.5 м. Среди этих известняков часто встречаются также весьма пористые, ноздреватые разности, а также непостоянные линзовидные прослои плотных кремнистых мергелей.

Указанные известняки отчетливо прослеживаются по южному склону чокракского гребня, около дер. Мама-Татарская и в районе источника № 1. Хорошие его обнажения имеются также близ нового здания курорта. Кроме того, известняки дают ряд небольших изолированных выходов. Во всех скважинах они без труда отмечаются и являются таким образом маркирующим горизонтом.

Над известняками залегают серые и зеленовато-серые известковистые глины, зачастую сланцеватые, пластичные. Им подчинены прослои мергелей и известняков до 1 м мощности, в которых часто встречаются *Spaniodontella*. К этим же глинам приурочены непостоянные по мощности прослои мшанкового известняка, залегающие в виде округлых глыб, а также караваевидные образования волнисто-слоистого известняка со скорлуповатой отдельностью.

Среди верхней части карагана выделяется толща темных хорошо слоистых, рассыпающихся при выветривании на тонкие плиточки глин, по внешнему виду неотличимых от майкопских. В них только изредка попадаются тонкие прослои мергелей. Мощность этих темных глин порядка 18 м.

Мощность же всей верхней части караганских слоев точно определить не удалось, так как выходов вышележащих конкских пород близ курорта нет. В скважинах также не удалось отметить границу караганских и конкских горизонтов. В связи с этим мощность верхней части карагана можно определить лишь приблизительно. Повидимому она выражается величинами порядка 35—40 м.

Караганские породы в непосредственных окрестностях курорта на площади распространения занимают доминирующее положение. Они

широкой полосой протягиваются с юго-востока на северо-запад, слагая внешний склон чокракского гребня.

Описание конкских, сарматских и мэотических пород дается нами здесь весьма кратко, так как при решении вопросов, связанных с изучением чокракских сероводородных вод, они непосредственного интереса не представляют.

Конкский горизонт. Толща плотных глин конкского горизонта лежит над караганским горизонтом; петрографически она не отличается от нижнесарматских и от зеленовато-коричневых глин, залегающих в верхних частях караганских слоев.

Глины оливкового, коричневого и зеленоватого цвета. В них находится большое количество гипса, кроме того они содержат прослои белых, желтоватых мергелей и прослойки тонкого песка. Значительная часть толщи не содержит ископаемых организмов, кроме редких трубок *Pectinariopsis* и раковин *Pholas*, но вверху в отдельных пунктах были найдены также остатки моллюсков.

Мощность отложений между караганским горизонтом и слоями с конкской фауной равняется приблизительно 100—140 м, мощность же слоев с конкской фауной не превышает 5—10 м.

Сарматский ярус. Над конкскими слоями лежит однообразная толща темных глинистых пород — нижнего сармата. Глины темносерого, частью зеленовато-серого и оливкового цвета. Они хорошо слоисты, содержат много гипса, а также прослойки серо-желтых мергелей. Мощность нижне- и среднесарматских глин для изоклинальной долины Мамы определяется величиной около 350 м.

Средний сармат. Среднесарматские отложения по литологическим особенностям можно подразделить на два горизонта. Нижний из них представлен зеленовато-серыми и темносерыми глинами. Верхний же горизонт имеет глинисто-мергельный состав. Мощность горизонта достигает до 20 м.

Верхний сармат. Верхнесарматские отложения представлены светлыми глинами с прослоями светлых мергелей. Глины имеют белую и светлосерую окраску. Мощность верхнесарматских пород не превышает 80—100 м. В верхних частях верхнесарматских глин появляется скопление мшанок, которые образуют известковые рифы.

Мэотический ярус. Над верхнесарматскими отложениями располагаются темносерые глины мэотиса. Среди глин встречаются рифовые образования. Возраст мшанковых известняков точно не определен, и, очевидно, часть из них принадлежит к мэотическим отложениям. Мощность мэотических отложений достигает 60 м, в отдельных же местах и больше.

Четвертичные отложения. Наиболее древними из четвертичных пород в районе Чокракского курорта являются отложения Каспийской и Средиземноморской террас. Прекрасные обнажения их имеются в районе скважины № 6, где террасы хорошо орографически выражены.

Отложения Каспийской террасы представлены главным образом крепко сцементированными прослоями грубо детритусовых ракушечников, состоящих местами целиком из раковин *Paludina*, а местами имеющих примесь плоских галек местных пород (кремнистых мергелей и известняков). Зачастую скопление галек образует линзовидные прослои конгломератов, также содержащих детритусовый ракушечный материал. Отдельные прослои сильно ожелезнены.

Вся эта толща чрезвычайно неоднородна, отдельные слои фациально замещают друг друга.

В отложениях Каспийской террасы ярко проявляется диагональная слоистость.

Средиземноморская терраса представлена главным образом песчанистыми глинами и галечниками. Кроме того, встречаются небольшие устричные банки и мшанковые рифы.

В береговом обнажении озера близ скважины № 6 хорошо видно налегание отложений Средиземноморской террасы на Каспийскую.

Кроме того, на мысу, выдающемся в озеро против Бабчинской балки, имеются прекрасные обнажения пород Средиземноморской террасы, где они представлены, главным образом, глинами. Несколько к востоку от мыса на берегу озера они встречаются лишь изредка.

На дне озера, под слоем черной грязи, во время разведки Н. С. Пчелин констатировал глины, содержащие *Cardium edule*.

Нами также были отмечены эти глины, с крупными *Cardium*, в скважине № 7 до глубины 18 м. Весьма вероятно, что их следует рассматривать как тирренские отложения.

Современные четвертичные отложения представлены в районе курорта главным образом элювиальными и делювиальными суглинками, содержащими обычно большое количество обломков подстилающих пород — известняков и мергелей. В них встречаются довольно часто кристаллы гипса различной величины.

Среди этих суглинков имеются лёссовидные разности, которые обычно залегают в местах выхода на поверхность майкопских глин.

Отложения Чокракской и Бабчинской балок также представлены главным образом суглинками и обломками твердых пород (известняков и мергелей), причем отложения Бабчинской балки приобретают аллювиальный характер.

Северный склон г. Кашталак покрыт почти целиком обвалами и оползнями среднесарматских известняков.

Тектоника участка, примыкающего к курорту, определяется положением его в области погружения оси чокракской антиклинали и наличием двух дополнительных антиклинальных складок, осложняющих строение крыльев основной антиклинали.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

В результате разведочно-буровых работ с гидрогеологической съемкой в масштабе 1/5000 на площади 4 км² на курорте получены минеральные воды двух основных типов: с общей минерализацией около 7 г/л, с содержанием сероводорода порядка 350 мг/л, и с минерализацией около 30 г/л и с содержанием сероводорода порядка 420 мг/л.

Средний дебит минеральной воды первого типа из разведочной буровой скважины № 11 после четырехмесячных наблюдений и при самоизливе на абсолютной отметке 0.75 м определяется в 80 тыс. л в сутки. Средний дебит минеральной воды второго типа из разведочной скважины № 6 при наблюдении в течение четырех зимних месяцев при самоизливе на абсолютной отметке 0.92 м определяется в 9 тыс. л в сутки (см. таблицу). Дебит отдельных разведочных скважин из чокракского горизонта определяется от 10 до 200 тыс. л в сутки при самоизливе. При откачках же с понижением уровня до 4—4.5 м он достигал (скважина № 1) от 225 до 400 тыс. л в сутки.

Химический анализ минеральных вод из чокракского горизонта

Аналитики И. С. Красникова и М. С. Суетина

	I тип (скважина № 11) 28 IX 1937			II тип (скважина № 6) 1 X 1937		
	г	мг-экв.	%-экв.	г	мг-экв.	%-экв.
Катионы						
Аммоний NH_4	0.0225	1.25	1.38	0.1499	8,33	1.67
Натрий Na'	1.7687	76.90	84.82	0.6423	419.23	83.88
Калий K'	0.0806	2.06	2.27	0.4408	11.27	2.25
Магний Mg''	0.0821	6.75	7.44	0.4412	36.28	7.26
Кальций Ca''	0.0742	3.70	4.09	0.4947	24.69	4.94
Сумма	—	90.66	100.00	—	499.80	100.00
Анионы						
Сульфат SO_4''	0.2272	4.73	5.22	0.0011	0.02	—
Хлор Cl'	1.6177	45.62	50.32	16.9141	477.99	95.43
Бром Br'	0.0157	0.20	0.22	0.1327	1.65	0.33
Иод J'	0.0120	0.09	0.10	0.0450	0.36	0.08
Гидрокарбонат HCO_3'	1.9850	32.54	35.89	1.0110	16.58	3.32
Гидросульфид HS'	0.2470	7.48	8.25	0.1390	4.20	0.84
Сумма	—	90.66	100,00	—	499.80	100.00
Недиссоциированные молекулы		миллимоли			миллимоли	
Угольный ангидрид CO_2	1.6040	36.42	—	1.1130	25.29	—
Общий свободный	0.1707	3.88	—	0.3938	8.72	—
Кремневая кислота H_2SiO_3	0.0182	0.23	—	0.0259	0.33	—
Метаборная кислота HBO'_2	0.1791	4.08	—	0.0736	1.68	—
Сероводород общий H_2S	0.3612	10.60	—	0.4227	12.40	—
Сероводород свободный	0.1063	3.12	—	0.2790	8.19	—
Сумма	6.6070	—	—	30.1170	—	—
Сухой остаток при 180°	1.8940	—	—	28.09	—	—
pH	7.3	—	—	7.2	—	—
Удельный вес	1.00 (23°)	—	—	1.02 (20°)	—	—

Формула Курлова: $H_2S_{0.36}\ M_{6.6}\ \frac{Cl_{50}\ HCO_{3_{35}}}{Na_{85}}\ H_2S_{0.72}\ M_{29.2}\ \frac{Cl_{96}}{Na_{88}}$

Геологический разрез разведочной скважины № 11, проведенной на территории курорта Чокрак, приведен на фиг. 2.

При проходке этой скважины были встречены воды с глубины 0.5 м. В караганских глинах водоносные горизонты встречены на глубине 11.7 м в тонком прослое мергеля. Воды эти сильно минерализованы и очевидно питают озеро.

С глубины 13.88 м в трещиноватом мергеле вскрыты сильно минерализованные сероводородные, слабо изливающиеся воды. Химический состав по формуле Курлова:

$$M_{16.7}\ \frac{Cl_{93}}{Na_{72}}.$$

В интервале глубин 21.13—21.28 м начался сильный самоизлив минеральной воды. Опытная откачка сифоном при глубине скважины 24.35 м дала дебит 17 тыс. л в сутки, при понижении уровня на 0.38 м. Химический состав воды по формуле Курлова:

$$H_2S_{0.62}M_{8.7}\ \frac{Cl_{71}}{Mg_{15}Ca_{28}Na_{27}}.$$

На глубине 30.80—33.80 м, в прослое рыхлых известняков, встречен водоносный горизонт с дебитом 600 тыс. л в сутки. Содержание сероводорода 11.2 мг/л.

Чокракский водоносный известняк встречен на глубине 41.35 м. Дебит сероводородной воды при самоизливе (+ 0.38 м над отметкой устья скважины) был определен до 225 тыс. л в сутки (замер произведен при вскрытии чокракского горизонта). Температура воды 15°. Высота пьезометрического уровня 4.56 м над уровнем скважины (абсолютная отметка 4.66 м). Водоупорное ложе, майкопские глины, встречено на глубине 51.75 м. Химический состав воды чокракского горизонта по формуле Курлова:

$$H_2S_{0.37}M_{6.3}\ \frac{Cl_{51}HCO_{31}}{Na_{86}}.$$

Последующие режимные наблюдения за дебитом минеральной воды из чокракского горизонта в разведочной скважине № 11 в продолжение четырех зимних месяцев определили его в среднем в 80 тыс. л в сутки при самоизливе (+ 0.60 м над отметкой устья скважины).

В заключение необходимо отметить, что чокракские крепкие сероводородные воды имеют огромное бальнеологическое значение.

Сероводородные воды развиты на большой площади Керченского п-ва. Они связаны с определенным стратиграфическим горизонтом — чокракскими известняками и образуют в них крупный артезианский бассейн. При наличии в бассейне брахиантиклинальных структур, областью их питания служат местные выходы на дневную поверхность чокракских известняков.

Сероводородные воды чокракского горизонта находятся в движении и подвергаются, в движении к дренам, метаморфизации, в связи с чем более минерализованные воды мы встречаем в погружениях синклинальных структур, где также циркуляция их более замедленна, тогда как на склонах антиклиналей они менее минерализованы и отличаются меньшим содержанием сероводорода.

На разведанной площади чокракского участка сероводородные воды выведены нами на погружениях чокракской антиклинали и в более поднятых ее частях, где ближе связаны с метеорными водами. Этим и объясняется различие в минерализации вышеописанных минеральных источников курорта.

ВОПРОСЫ КАПТАЖА

Обычно не только для разведочных, но и для временно-эксплоатационных скважин применяются железные трубы, подверженные интенсивной коррозии. Поэтому на отдельных курортах стали теперь применять асбоцементные трубы. Для каптажа сероводородных вод мы предлагаем деревянные сверленые трубы. Возможность применения и прочность их уже давно проверены практикой. В качестве примера могут служить буровые скважины на курортах Ключи (Молотовской обл.) и Старая Русса. На последнем деревянные трубы, спущенные на глубину около 120 м более 100 лет назад, хорошо сохранились до настоящего времени.

На основании результатов геологических изысканий проектом предусматривается каптаж буровой скважины № 1 около разведочной скважины № 11 и закрепление ее четырьмя колоннами труб, из которых одна эксплоатационная — деревянная, с наружным диаметром 6″ в стальном чехле, а другие колонны — стальные. Длина каждой деревянной трубы 4.5—5.0 м, с коническим соединением. Трубы должны быть сверленые.

Спуск труб производится посредством штанг (с левой резьбой). В толщу чокракского горизонта опускаются перфорированные трубы без стального чехла (с внутренним диаметром до 2½″) до глубины 51 м. Буровая должна пройти чокракские породы; в подстилающих майкопских глинах — до глубины 55 м.

Спуск 4 колонн стальных труб (12″, 10″, 8″ и 6″) принят для того, чтобы, во-первых, изолировать минеральную воду, циркулирующую в чокракском горизонте, от доступа вод верхних горизонтов и, во-вторых, чтобы предохранить от коррозии чехол эксплоатационных труб.

Колонна 6″ (в стальном чехле) с внутренним диаметром 2½″ является колонной эксплоатационной. Материалом этой колонны принято дерево по следующим соображениям:

1) устойчивость дерева по отношению к сероводороду, содержащемуся в минеральной воде (до 350—400 мг/л);

2) небольшие глубины каптажных буровых № 1 и № 2, при которых нет особенных затруднений для спуска труб указанного диаметра;

3) индиферентность материала в отношении влияния на химический состав минеральной воды;

4) прочность.

Межтрубное пространство всех колонн труб заливается глинистым раствором.

Проведение каптажной буровой скважины № 2, как уже указывалось, намечено около разведочной скважины № 6. Геологический разрез скважины № 6 показан на фиг. 2. При проходке этой скважины в четвертичных отложениях, представленных детритусовыми суглинистыми песками, на глубине 1—2 м были встречены высоко минерализованные соленые воды.

Химический состав их по формуле Курлова:

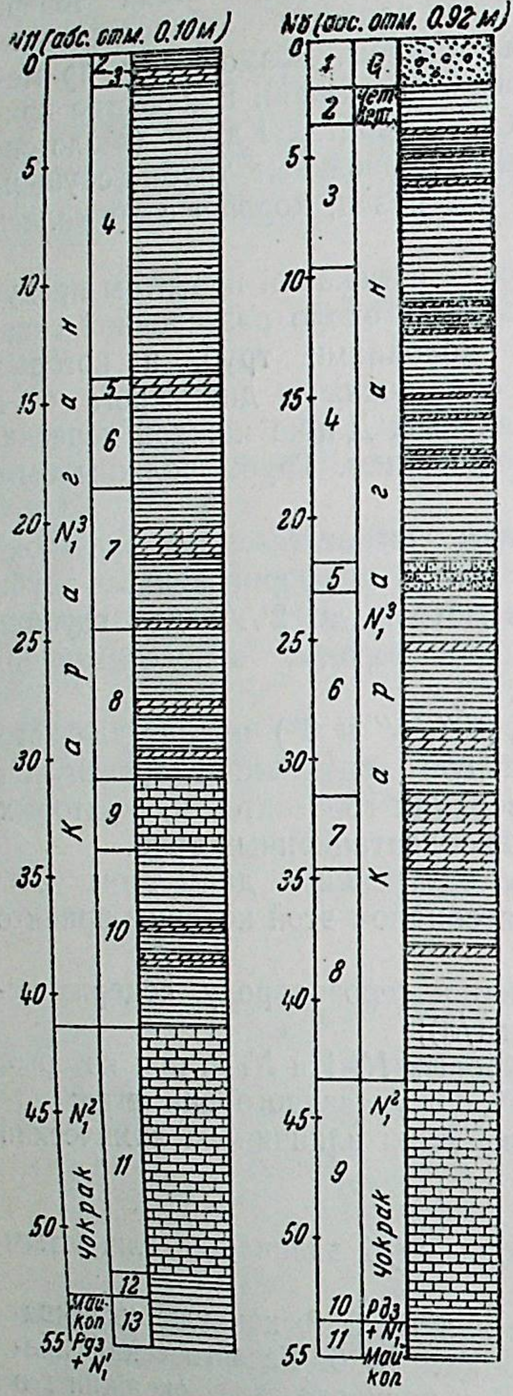
$$M_{99.5}\ \frac{Cl_{99}}{Na_{75}}.$$

На глубине 6 м в песчаном прослое встречена вода химического состава по формуле Курлова:

$$M_{123.6}\ \frac{Cl_{99}}{Na_{77}}.$$

Следующий водоносный горизонт встречен на глубине 11.0—13.10 м. С глубины 11.5 м отмечен самоизлив с дебитом в 13 500 л в сутки (с глубины 13.16 м). Химический состав по формуле Курлова:

$$H_2S_{0.61}M_{39.8}\frac{Cl_{86}}{Na_{86}}.$$



Фиг. 2. Геологические разрезы разведочных скважин.

На глубине 16.90—18.0 м встречен водоносный горизонт самоизливающейся сероводородной воды. Химический состав по формуле Курлова:

$$M_{43.2}\frac{Cl_{89}}{Na_{83}}.$$

На глубине 31.46—34.54 м в трещиноватом известняке встречен водоносный горизонт со статическим уровнем 1.40 м. На глубине 37.80—38.20 м в прослое окремнелого трещиноватого мергеля вскрыт горизонт напорной сероводородной воды. Химический состав ее по формуле Курлова:

$$H_2S_{0.73}M_{34}\frac{Cl_{89}}{Na_{93}}.$$

Чокракские известняки встречены на глубине 43.40 м. Самоизлив чокракской сероводородной воды начался с глубины 44.65 м. Наблюдалась усиленная газация. Высота пьезометрического уровня выше устья скважины на 0.69 м (абсолютная отметка 1.61 м). Водоупорное ложе на глубине 52.25 м. После вскрытия всего чокракского горизонта дебит при самоизливе определен до 17 000 л в сутки. Температура воды 15.8° С. Химический состав по формуле Курлова:

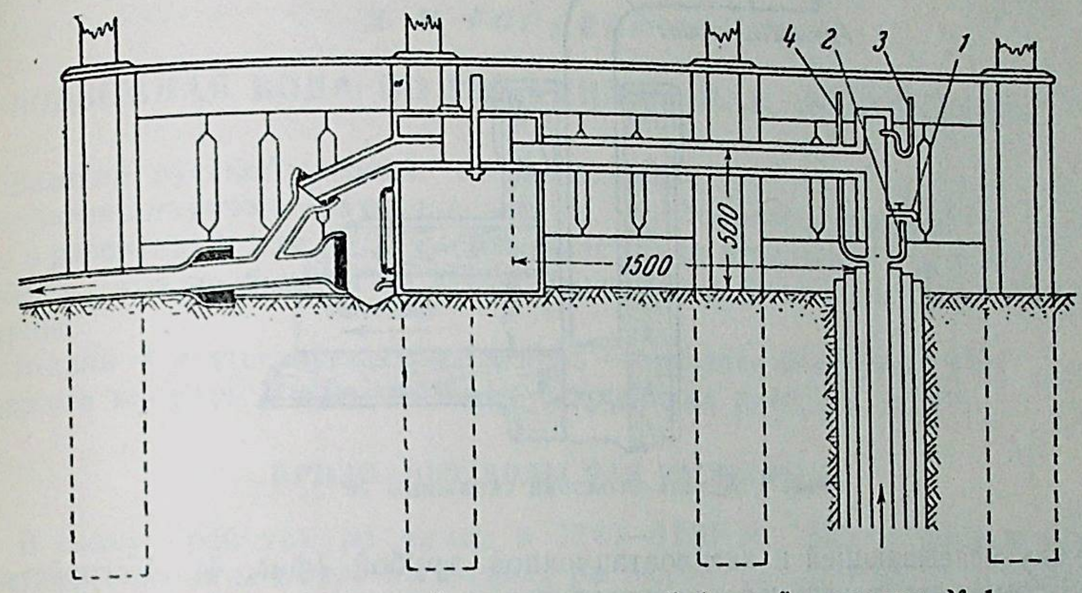
$$H_2S_{0.2}M_{29.2}\frac{Cl_{91}}{Na_{88}}.$$

Последующие режимные наблюдения за дебитом минеральной воды в продолжение четырех зимних месяцев определили дебит в среднем в 9 тыс. л в сутки (при самоизливе + 0.15 м над отметкой устья скважины). Наблюдения, произведенные нами в 1938 и 1939 гг. за дебитом и химическим составом воды скважины № 6, показали, что изменений в них нет.

Проектом предусматривается закрепление каптажной буровой № 2 четырьмя колоннами труб. Принята, примерно, та же конструкция, как

и для буровой № 1. Эксплоатационная колонна деревянная с наружным диаметром 6″, в стальном чехле. Внутренний диаметр деревянных труб $2^1/_2$″. Остальные колонны труб стальные.

По чокракскому горизонту опускаются перфорированные деревянные трубы (без стального чехла) до глубины 53 м. В майкопских глинах скважина углубляется до 55 м.



Фиг. 3. Схема головной части каптажной буровой скважины № 1.

1 — кран для отвода минеральной воды на анализы; *2* — термометр; *3* — трубка для отвода газа; *4* — пьезометрическая трубка.

Режимные наблюдения в каптажной буровой № 1 будут производиться, не нарушая ее эксплоатацию. Точка забора минеральной воды нами взята на абсолютной отметке 0.60 м. Высота устья каптажной буровой над устьем скважины составит около 1 м.

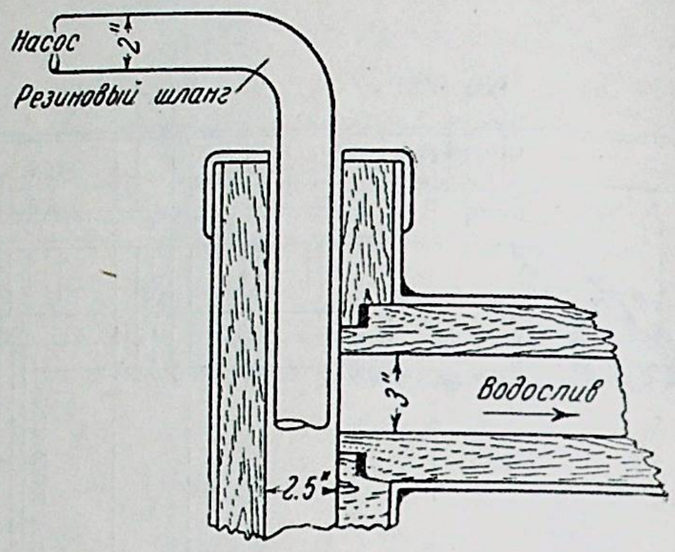
В промежутке от поверхности земли до точки перелива минеральной воды в эксплоатационной водовыводящей трубе устанавливается постоянный термометр (родниковый), кран для взятия проб, химические контрольные анализы и пьезометрическая трубка (фиг. 3).

Устьевая часть каптажной буровой закрывается деревянной пробкой на резьбе. Под пробкой не доходя до нее 2—3 см, устраивается небольшое отверстие, диаметром около 1 см для вывода метана, в целях предупреждения возможности образования в этом месте газовой пробки. В отверстие вставляется U-образная трубка, заполненная водою, что предотвращает доступ воздуха в скважину (фиг. 3).

Из $2^1/_2$″ эксплоатационной трубы каптажной скважины минеральная вода поступает в 3″ деревянную трубу, ведущую к резервуару через дебитомерный деревянный ящик. При помощи рычага дно ящика поднимается, и минеральная вода поступает в дебитомерный резервуар емкостью 100 л (фиг. 3). После замера дебита и закрытия ящика минеральная вода поступает в запасный закрытый резервуар, из которого насос подает воду к ванному зданию.

Эксплоатация минеральной воды из каптажной буровой № 2 предполагается путем откачки насосом. В скважину через пробку опускается всасывающая труба насоса, через которую насос качает минеральную

воду из скважины. В пробке, закрывающей скважину, предусматривается небольшое отверстие для выхода избытков газа и наблюдения за уровнем во время откачки минеральной воды и температурой. Для отвода самоизливающейся минеральной воды во время перерывов в работе насоса ниже пробки устанавливается тройник, через который вода может выливаться наружу, проходя через кольцевое пространство



Фиг. 4. Деталь оголовка скважины № 2.

между всасывающей и эксплоатационной трубой (фиг. 4). Устройство дебитомерного резервуара производится аналогично устройству в каптаже бурсвой № 1. Взятие проб для химических анализов производится во время замера дебита.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Д. Архангельский, А. А. Блохин, В. В. Меннер, С. С. Осипов, М. И. Соколов и К. Р. Чепиков. Краткий очерк геологического строения нефтяных месторождений Керченского полуострова. Тр. Главн. геол. разв. упр. ВСНХ СССР, вып. 13.
2. М. М. Фомичев, Л. А. Яроцкий. Чокракские сероводородные воды. Журн. «Вопросы курортологии», 1938, № 1—2.

Д. И. ГОРДЕЕВ

ПОДЗЕМНАЯ ВОДА ПО ВОЗЗРЕНИЯМ М. В. ЛОМОНОСОВА

Великий русский ученый, основоположник русского классического естественно-научного материализма, М. В. Ломоносов разработал учение о развитии Земли, которое было настолько передовым для середины XVIII в., что не было в то время понято ни в России, ни в Западной Европе.

В данной статье преследуется цель — показать воззрения М. В. Ломоносова на роль подземной воды в процессах развития Земли.

ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ КАК РАСТВОРЫ

В своих работах по химии в 1740—1750 гг. Ломоносов уделял большое внимание вопросам водных растворов. Его взгляды на процесс растворения и на растворы изложены главным образом в его двух работах: «Диссертация о действии химических растворителей вообще» (1744) [13] и «Курс истинной физической химии» (1752—1754) [8].

В этих работах Ломоносов указывал, что все соли содержат значительные количества воды и, будучи насыщены водой, они растворяются в ней; при этом поглощается теплота. В противоположность этому явлению, он указывал на растворение металлов в кислоте с выделением теплоты. Первый из указанных процессов он считал за собственно растворение, процессы же второго рода он считал химическим превращением. Таким образом он устанавливал в науке понятия, на различие которых в Западной Европе было указано Лавуазье лишь в 1789 г., т. е. через 45 лет после Ломоносова.

Критикуя современные ему теории растворов, основанные на понятиях притяжения и химического сродства, Ломоносов развил физическую теорию растворов. Большое значение его работ в этой области станет ясным, если вспомнить, что еще в начале XX в. в науке боролись две группы теорий растворов: химическая (например, гидратная теория) и физическая (например, осмотическая теория).

Говоря о сгущении воздуха (газов) в металлах и жидкостях, он сделал первое приближение к разработанной в Западной Европе Вант-Гоффом почти через 150 лет (1890 г.) теории твердых растворов газов. Таким образом Ломоносов направил научную мысль на открытие того явления, которое впоследствии, через 100 лет, стало называться адсорбцией.

В своей обширной программе физико-химических опытов Ломоносов намечал опыты и наблюдения над растворами солей в воде в самых различных условиях. Он полагал определять: растворимость при разных температурах, температуру кипения растворов, температуру замерзания

растворов, растворимость в соляных растворах, увеличение объема при растворении, поглощение теплоты при растворении, плотность растворов, удельную теплоту, сцепление солей и растворов, светопреломление их, капиллярность соляных растворов в сравнении с чистой водой, микроскопическое изучение растворов, действие электричества на растворы, цвет электрических искр и пламени в растворах солей, растворимость в пустоте и на воздухе и т. д. Наряду с этим он намечал изучение тех и в твердом состоянии, а именно: кристаллизацию при разных температурах, форму и удельный вес кристаллов, светопреломление их, роль электричества при кристаллизации, расплывание и растворение солей в парах воды, спирта, температуру плавления солей, кальцинирование солей, удельный вес порошкообразных солей и т. д.

Ломоносов ставил целью изучить влияние широких пределов температуры на растворимость, т. е. тех вопросов, которые впоследствии, в начале XIX в., внедрены в науку Гэй-Люссаком. В результате изучения температуры замерзания водных растворов Ломоносов установил, что температура замерзания раствора поднимается параллельно с увеличением концентрации его. Через полвека это открытие Ломоносова было в Западной Европе дополнено законом о том, что соль понижает температуру замерзания раствора пропорционально растворенному количеству вещества (Blagden, 1788).

В обширной программе физико-химических опытов с растворами Ломоносов наметил те направления в науке, которые впоследствии оформились как термохимия, электрохимия, спектрохимия растворов, получившие в настоящее время огромное значение. Роль Ломоносова как пионера науки о растворах, историческое значение его работ в области теории растворов достаточно ясно вскрыли профессор Б. Н. Меншуткин [20, 21, 23] и академик П. И. Вальден [15, 16]. На это же недавно еще раз указал академик В. И. Вернадский [17].

РОЛЬ ВОДЫ В ГЕНЕЗИСЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Понятие раствора Ломоносов переносил и на природные воды — речные, морские, подземные. По его представлению, эти природные воды являются растворами солей различной концентрации. А сами соли, выпадающие из этих растворов, он называл загустелыми соками.

«Загустелыми соками называются твердыя материи, которыя в чистой воде распускаются, и прозрачности ея не отнимают, и при том в огне сами одне не горят но только растапливаются» [1, § 15].

Вся четвертая глава его сочинения «Первые основания металлургии» [1] посвящена солям и называется «О загустелых соках минеральных, или солях».

Исходя из своих воззрений на природные воды как на растворы, Ломоносов разработал учение о роли подземных вод в образовании рудных, главным образом жильных месторождений. Это учение о жильных рудных месторождениях изложено в его сочинениях: «Первые основания металлургии или рудных дел» [1], написанном в 1742 г. и изданном в 1763 г.; «Слово о рождении металлов от трясения земли» [9], опубликованном в 1757 г.; «О слоях земных» [3], написанном в конце 1750-х гг. и изданном в 1763 г.

В этих произведениях Ломоносов, выделяя четыре генетических типа месторождений: жилы, пласты, гнезда, россыпи, особенно подробно

остановился на первом типе. В учении о жильных рудных месторождениях он не указывал магматических и контактовых генетических типов месторождений. Но у него уже освещены пневматолитические и гидротермальные генетические типы в современном их понимании.

По его представлениям металлы — не элементы, а сложные тела, и являются в истории Земли не первозданными, а возникшими на значительно поздней ступени развития Земли. Металлы «и ныне родятся» и превращаются друг в друга. Образование металлов происходит по трещинам («щелям») в горных породах, которые, заполняясь рудой, превращаются в жилы или «рудные слои»:

«Рудные слои, или лутче сказать, жилы, суть великия в каменных горах щели, наполненныя рудами, и с ними находящимися жильными минералами» [3, § 65].

«Жилами называются сквозь горы проходящия щели, наполненныя минеральными вещами в перьвой части описанными, от материи самой горы отмennыми. Например, гора состоит из сераго кремнистаго камня, а щель имеет наполненную светлою свинцовою рудою. Сия щель называется жила свинцовой руды» [1, § 44].

Возникающие в этих трещинах металлы образуются из соединения «серной летучей материи с земляными, или с каменными частицами» [3, § 160].

Рудные месторождения образуются не только на месте возникновения металлов в жилах от соединения «серной летучей материи с земляными, или с каменными частицами» (пневматолиз — в современном понятии), но и путем привноса в трещину растворенных в воде минеральных веществ. Наличие металла где-либо не означает, что это место его возникновения, ибо металлы мигрируют на земле. Основным фактором этой миграции является подземная вода как природный раствор. Циркулирующая в породах вода растворяет «разные материи» и затем снова отлагает их в других местах — в трещинах, шахтах, штольнях. Так, он писал:

«Между тем дождевая вода сквозь внутренности горы процеживается, и распущенные в ней минералы несет с собою, и в оныя расселины выжиманием или каланьем вступает; каменную матéрию в них оставляет таким количеством, что в несколько времени наполняет все оныя полости. Удостоверяет о сем повседневное искусство рудокопов, которые в рудниках... весьма часто находят новые минералы, которыми не токмо разбитыя старыя руды, в кучу собранныя, снова срастаются, но и старые рудники новою материею наполняются» [9, стр. 22—23].

При этом вопросу о современном процессе выделения из воды минеральных веществ в рудниках он уделил особое внимание:

«Не упоминая множества прожилков рудными минералами наполненных и пустых щелок, должно предложить о горных водах, кои из них жмутся, и приносят с собою в рудники разныя материи. Обыкновенныя и почти очевидно умножающияся суть горныя нáкипи, и капи верхния и нижния. Нáкипи обыкновенно занимают стены в шахтах и в штольнях. Садятся на них как бы на дереве неравная губа, или в погребах толстая плесень; состоят из рухлой каменной белой жолтоватой материи, которую иногда можно раздробить между перстами. Не редко садится в ней жолтой и белой калчадан, с признаками дорогих металлов» [3, § 68].

И далее осветил образования, ныне называемые сталактитами и сталагмитами:

«Капь верхняя подобна со всем ледяным сосулькам. Висит на сводах штольны натуральных. Сквозь сосульки, коих иногда много разной длины и толщины вместе

слись, проходят сверху вертикальныя скважины разной ширины, из коих горная вода каплет, долготу их наращает и производит капь нижнюю, которая растет от падающих капель из верхних сосулек» [3, § 69].

Идея Ломоносова о том, что выполнение рудных жил происходит за счет веществ, заимствованных водой из окружающих пород, являлась весьма передовой и новой не только для середины XVIII в., но и в XIX в. Ф. Н. Чернышев [26], указывая новизну этой идеи Ломоносова, напомнил, что в работах западноевропейских ученых она появилась впервые лишь в начале второй половины XIX в.

ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ КАК ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫЙ КРИТЕРИЙ

Ломоносов разработал не только учение о жильных рудных месторождениях, но и методику поисково-разведочного дела. При этом и здесь он придавал исключительно большое значение воде как природному раствору. Говоря о признаках рудонахождения, он делил эти признаки на общие и частные («партикулярные») и в числе шести общих признаков он в первую очередь указывал на гидрохимию поверхностной воды, исходя из представления о ней, как о природном растворе. Так, он указывал как на признак возможного рудонахождения:

«Ежели ручьи и родники, из гор протекающие, какой нибудь распущенный минерал в себе имеют, что можно скоро по вкусу признать; а особливо ежели в воду положенное железо скоро ржавеет» [1, § 54].

Другим из шести общих признаков рудонахождения он считал выход на поверхность цветной земли, т. е. то, что теперь называется железной шляпой выветривания выше уровня грунтовых вод. А из четырех частных признаков рудонахождения он в первую очередь указал на оседание поверхности над рудными месторождениями (в современном понимании — над зоной окисления), сделав это открытие впервые в науке. Таким образом в круг внимания Ломоносова входили вопросы и о роли воды в разрушении рудных месторождений. Значение работ Ломоносова в учении о рудных месторождениях и методики поисково-разведочного дела недавно подчеркнул В. М. Крейтер [18, 19].

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДЫ И ПОРОДЫ

Ломоносов близко подходил к пониманию обменных реакций в природе как динамической связи между подземной водой и окружающими породами и указывал на явления, ныне называемые метасоматозом. Он писал:

...«совсем те обманываются, кои думают, что будто некоторые минеральные купоросные ключи имеют такую силу, которою они железо в медь претворяют; ибо находящаяся в них купоросная кислость вложенное в себя железо разъедает, и с собою уносит, а вместо того медь свою оставляет» [1, § 17].

Для него минерализованные органические остатки в земных слоях не «игра природы», а результат тех же гидрохимических процессов растворения и выпадения солей из раствора:

«Ибо дождевая вода, когда горы проницает, тончайшия земляныя частицы, из которых камни сседаются, в себе разводит, и от тех силу получает другия тела

претворять в камень, оставя в их скважинах оныя частицы, которыя прежде из каменной горы взяла с собой» [3, стр. 21—22].

Приписывая янтарю органическое происхождение и принимая его за ископаемую окаменелую смолу деревьев, Ломоносов указал, что эта «смоляная материя»:

...«сол землею долговечным временем от минеральных соков тверже стала» [3, стр. 17].

РОЛЬ ВОДЫ В ПРОЦЕССАХ ПОРОДООБРАЗОВАНИЯ

В произведении «О слоях земных» [3] Ломоносов подробно изложил свое учение о процессах породообразования, в которых большое значение придавал подземной воде как природному раствору. В своем учении «о происхождении слоев земных» он, указывая пять главных «способов рождения камней», в трех из них решающую роль отводил воде как раствору.

Во-первых, он ввел в науку ясное представление о процессах цементации рыхлых пород. Некоторые каменные породы (песчаники) образуются, по его мнению, «проницанием» растворенных или мелких взвешенных частиц в поры рыхлых пород. Он писал:

«Проницание составляет третей натуральный способ рождения или произвождения камней, когда в глину либо в песок входит вода и с собою вносит тонкую земляную нечувствительную материю, которая после служит вместо некоторого клею рыхлым частям песку или глине».

И далее:

«Сюда принадлежат песчаные камни, кои ничто иное суть, как песок напоенный глинистою водою, и через долготу времени с нею затвердевшей»... [3, § 136].

Сюда же относится «соляной камень», который не следует смешивать с «каменной солью»:

...«соляной камень ни что иное есть, как некоторая песчаная или ноздреватая горная материя, росолом напоенная и затверделая» [3, § 63].

Четвертый вид рождения камней — «огустение» («огущение», «сгущение», «згущение»), т. е. выпадение из водных растворов аморфных тел (коагуляция):

...«каковы суть агаты, сердолики, опалы и другие, кои все кремнями назвать можно ради подобнаго сложения. Они находятся в несравненно меньшем числе, нежели вышеописанныя породы, по большей части в их полостях и скважинах, и не могут инако почесться как загустелым соком, которой собрался из гор в помянутыя полости, и принял на себя цвет металлических частей, которыми сама содержащая их гора изобилует. Сие рождение камней свойственно назваться может сгущением» [3, § 140].

Наконец, камни образуются «зернованьем», т. е. кристаллизацией из раствора:

«Сия кристаллизация или зернованье разнится от вышепоказанного огущения как выварка клею до суха от выварки соли до посадки их в зерна: за тем, что первая ради большей липкости к воде не может от ней отлучиться, пока вся не изсякнет: а вторая требует к своему в воде содержанию некоего ея количества, без котораго от ней отстает, и соединяясь с другими себе сродными частицами, составляет помянутыя зерна» [3, § 141].

ВОДА, КОЛЛОИДЫ И МИНЕРАЛЫ

Итак, развивая учение о процессах породообразования, Ломоносов указал на два вида выпадения из раствора минерального вещества: аморфный и кристаллический. Он ввел в науку понятие того, что впоследствии определилось понятием коллоидов и развилось в целую особую отрасль науки — коллоидную химию. На то, что этим явлениям в природе он придавал особое значение, указывают его программные записи для себя. Так, в числе своих опытных задач он отмечал изучать:

...«застудневание растворов, сцепление студней, цвет, запах»... [15]

Особое его внимание привлекал вопрос отношения глин к воде, как это видно в его «Химических и оптических записках» [5]. В этих же записках он намечал осуществить опыты искусственного получения минералов, т. е. опыты, которые были осуществлены минералогами и химиками только через 100 лет, и брал себе на заметку получить из мела горный хрусталь. Так, он помечал себе в качестве программы:

«Изо всего минеральнаго царства для кристаллизации гасить в воде все роды по множеству раз. Воду употреблять просто и с минеральною кислотою. Также горячею водою настаивать глины разныя в великом количестве. Сцеживать и туж сверху наливать. Много от сего можно ожидать к произведению натуральных камней. Из мелу чаять горных хрусталей» [5, стр. 425].

Он даже начал писать сочинение об искусственном окаменении, от которого сохранился лишь небольшой отрывок:

«Окаменелости, находимые среди истинных минералов, соответственно внутреннему состоянию, можно, по моему, свести к двум видам: одни являются наследием внешней фигуры животного или растения, и доказывают свой внешний вид внутренними волокнами и расположением частей; другие же не обнаруживают какого либо внутреннего строения, составляя массу вполне подобную камню...» [23, стр. 481].

Таким образом он впервые в истории минералогии поставил проблему искусственного синтеза минералов.

ПРИРОДНЫЕ РАСТВОРЫ И МЕТАМОРФИЗМ ГОРНЫХ ПОРОД

В учении о процессах породообразования Ломоносов поставил и правильно разрешил ряд вопросов метаморфизма пород под влиянием внутренней температуры Земли и природных водных растворов. Он считал, что в образовании пород большую роль играет подземная теплота, когда «слои земные» попадают в ее среду. Умеренная теплота способствует затвердению пород. От более высокой температуры в недрах Земли горные породы «перегорают», «пережигаются», превращаясь в известь». «Пережженные камни» подвергаются вновь изменениям под влиянием водных растворов:

...«кто может отрицать, что бы натура во внутренностях земных не пережигала диких камней сильнейшим тамошним жаром в известь, и не соединяла бы снова частиц их в крепкой союз проницанием вод минеральных разнаго цвету и других качеств, и тем не красила онаго снова рожденнаго камня разными красками; и на конец сильным землетрясением не выводила их наружу» [3, § 138].

Этот процесс метаморфизации протекает различно и приводит к результатам различным в зависимости от температуры, характера раствора.

состава первоначальной породы. Песок, ил, торф и другие рыхлые

«материи в разныя времена одна другую покрывшие, обожжены сперва подземным жаром, потом чрез проницание вязкой воды превратились в камни, в точильной, известной, серой разных пород, в каменные угли и в шиферы, разной твердости, по мере огня и проницания» [3, § 180].

Под влиянием той же высокой температуры в недрах Земли, путем возгонки из каменного угля, происходит нефть и другая «жидкая горючая материя». При своем образовании эта материя

«вступает в разныя расселины и полости сухия и влажныя, водами наполненныя» [3, § 154],

т. е. нефть при своем образовании, в зависимости от условий, может быть чистой или сразу обводненной. Ломоносов вводил, таким образом, в науку понятие о нефтяных водах.

Доказательством очагов высокой температуры в недрах Земли, по его мнению, является выход на поверхность теплых и горячих ключей, часто бальнеологического значения («врачующие» источники, «врачебные ключи»). Выход этих вод на земную поверхность Ломоносов связывал с явлениями землетрясения и горообразования [9, стр. 4, 8—9, 30].

ГЕНЕЗИС ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Насколько можно судить по его высказываниям, происхождение подземных вод Ломоносов целиком относил за счет «проницания» (инфильтрации) поверхностных вод, которые в свою очередь имеют атмосферное происхождение. Ломоносов ясно представлял себе процесс кругооборота воды в природе. Он писал:

«Что в рудники и жилы воды из гор самих с минералами вытекают, что явствует из § 68 и далее; чтож оная вода верховая от дождей, то изведали сами рудокопы, кои уверяют, что в сухие и бездождевные годы минеральныя воды в рудниках не так одолевают, как в дождливые» [3, § 177].

Выпавшая из атмосферы вода частью стекает на поверхности Земли в море, частью «проницается» (просачивается) в недра Земли. В недрах Земли вода частью расходуется на вышеописанные процессы минерализации и породообразования, частью, в различной степени, выходит вновь на поверхность в виде ключей. Таким образом атмосферная вода

«глубоко в землю проницая, выводит с ключевою водою глубоко потаенные минералы» [3, § 81].

Эта вышедшая из глубин на поверхность вода также стекает в море и испаряется в атмосферу. Проницание поверхностной воды происходит не повсеместно и не во все времена года. Этот процесс происходит только там, где с поверхности залегают земные слои, обладающие свойством пропускать через себя воду. А этим свойством обладают не все породы. Так, Ломоносов указывал:

«Итак по причине пор тела проницаемы, т. е. проходимы для посторонних проникающих материй». «Не таковы тела сопроницаемыя: они допускают постороннюю материю только в пустые промежутки; в этом отношении мы отличаем сопроницаемость от проницаемости» [7, стр. 117].

Кроме проницания воды вследствие пористости тел, этот же процесс происходит и из-за наличия в породах трещин («щелей»).

Однако в зимнее время года этот процесс проникания атмосферных вод в недра приостанавливается. Так, описывая Безансонскую пещеру, где в продолжение всего года сохраняется лед, накопление которого, однако, в зимнее время приостанавливается, Ломоносов писал:

...«летним временем дождевая вода сквозь верьх оныя пещеры щельми проходит, на дно ее каплет, и на нем в завостроватые столпы замерзает. Напротив того зимою, когда вода сверьх земли в лед претворяется, и в пещеру не проходит; тогда в ней для рождения льда нет материи» [9, стр. 11—12].

Образование подземных вод происходит также за счет инфильтрации воды, получающейся в результате таяния погребенных скоплений снега и льда. При этом Ломоносов указывал на наличие больших масс погребенных льдов в Сибири, где они являются причиной постоянной мерзлоты. Постепенное таяние таких погребенных скоплений происходит под влиянием внутренней теплоты Земли. Образование этих погребенных скоплений льдов происходит в результате различных движений земной коры и изменения климата на земле.

ПРОБЛЕМЫ МЕТЕОРОЛОГИИ

Кроме изучения подземных вод, их роли в геологических процессах и круговорота воды в природе, Ломоносов много занимался исследованием атмосферной воды и другими вопросами метеорологии. В сущности он был одним из основателей метеорологии как науки вообще и несомненно первым ее основателем в России. Он придавал большое значение этой науке, которая должна вскрыть причины атмосферных явлений и давать прогнозы погоды, столь необходимые, по его мнению, в практической жизни и особенно в мореплавании и сельском хозяйстве. В ряде своих сочинений в 1740—1750 гг. он поставил и правильно разрешил многие крупнейшие научные вопросы метеорологии [2, 10, 11, 12]. Он указывал на необходимость учреждения во всех частях света сети самопишущих метеорологических обсерваторий и был инициатором и организатором сети метеорологических наблюдений в России, стремясь поставить это дело широко и прочно. В 1764 г., подготавливая две географические экспедиции по Европейской части России для собирания материалов к новому большому российскому атласу, он написал инструкцию этим экспедициям, в которой, между прочим, указывал на необходимость постановки этими экспедициями в различных городах метеорологических наблюдений, привлекая для этого местных старожилов. Если учесть, что по его плану эти экспедиции должны были посетить 47 городов, то становится ясным, какой широкий замысел организации метеорологических наблюдений в России имел Ломоносов. Он и сам лично производил эти наблюдения как в Академии Наук, так и дома. Так, в 1754 г. в письме к Эйлеру он, сообщая, что в его имении (в Усть-Рудице) готовы дом и стекольный завод, писал:

...«возвожу плотину и мельницу хлебную и лесопильную; на верху ее будет устроена самопишущая метеорологическая обсерватория, описание которой вынесу на суд публики настоящим летом» [22].

Он был первым изобретателем целого ряда метеорологических приборов, в том числе самопишущих. О роли Ломоносова в развитии метеорологии упоминал еще Билярский [14] и особенно подробно эту роль осветил профессор Б. Н. Меншуткин [21, 22, 23, 24].

ВОПРОСЫ ГИДРОЛОГИИ И ГИДРАВЛИКИ

Поверхностных вод Ломоносов касался в своих произведениях главным образом в связи с изложением своего учения о «слоях земных». В этих произведениях он затронул следующий примерный перечень вопросов: 1) вода как фактор разрушения горных пород и переноса минеральных частиц при поверхностном стоке; 2) вода как среда осадконакопления в озерах и морях; 3) текучая вода как аккумулятор отдельных минеральных образований, в частности россыпных месторождений золота, серебра, алмаза; 4) текучая вода как фактор изменения рельефа Земли.

В 1760-х гг., работая над вопросом о возможности северного морского пути, Ломоносов, исходя из своих термометрических опытов над растворами и своих наблюдений того явления, что морская вода в отличие от речной при охлаждении застывает в ледяное сало, разработал целую теорию происхождения морских льдов и дал их классификацию, изложенную в 1763 г. в работе «Мысли о происхождении ледяных гор в северных морях» [6].

Он ставил перед собой задачу разрешить ряд вопросов гидрологии, гидродинамики, гидравлики. При своей стекольной фабрике в Усть-Рудице он соорудил плотину и гидросиловые установки; водяные двигатели служили у него для лесопильной двухрамной мельницы, мукомольной мельницы, транслаборатории (видимо размольная установка для размола материалов, идущих на изготовление стекла, а также для шлифовки самих изделий). Ломоносов специально изучал эту гидросиловую технику. Так, в отчете за 1754 г. у него записано:

«Деланы опыты при пильной мельнице в деревне, как текущая по наклонению вода течение свое ускоряет, и какою силою бьет» [14, стр. 280].

Ломоносов много работал по устройству «фонтанов фигурных крашеных на Неве» в Петербурге. Технике водяных двигателей им уделено особое внимание в III главе 3 части «Первых оснований металлургии» [1].

Из отдельных отрывков сохранившегося архива Ломоносова видно, что он интересовался вопросами сцепления капель растворов, изменения сцепления частиц под влиянием давления [25, стр. 292]. В своих «Химических и оптических записках» [5] он намечал для себя:

«Связь частей в жидких прозрачных телах должно прежде опытов для преломления испытать каплями» [5, стр. 430].

КРУГОВОРОТ СОЛИ И КОНЦЕНТРАЦИЯ ЕЕ В ОКЕАНЕ

С воззрениями Ломоносова на круговорот воды в природе и на воду как природный раствор тесно связаны его взгляды на круговорот соли на Земле. Соль при поверхностном стоке воды приносится в море, концентрируется там, при некоторых условиях осаждается; образовавшиеся пласты при горообразовательных движениях погружаются в недра Земли, уплотняются, теми же движениями выводятся на поверхность; горная соль растворяется как подземной, так и поверхностной водой и снова при стоке попадает в море. Он указывал на историческую генетическую связь различных видов соли в природе, на единство этого множества.

Так, он писал:

«Каменная или горная соль от оной, которую из соляных ключей выварывают, тем только разнится, что она той тверже, вкусом крепче, большими кусками в земле находится, и в воде распускается не столь скоро» [1, § 18].

В другом месте он писал:

...«вся горная соль есть соль морская»... [9, стр. 13].

Однако после осаждения соли в морях происходит некоторое очищение ее, так:

«Морская соль тем от ключевой и каменной так же разнствует, что несколько в себе селитры и горькой жирной материи содержит» [1, § 18].

Осажденная в море соль:

«Потóм солнечными лучами по разным местам высохнув на берегах морских, чрез важныя перемены лица земнаго скрылась в горы. Откуда вымываясь верхними водами, в виде ключей в реки входит и в море возвращается» [3, § 161].

В другом месте он писал:

«Отрещись не льзя, что пресныя дожжевыя и речныя воды не мало рассолу из ключей и от горных солей в моря вводят. Однако сие ничто иное есть, как возвращение в море того, что из него прежде взято»... [3, § 145].

Однако, по Ломоносову, этот круговорот соли не есть замкнутый бесконечный во времени круг; первоначально сплошная водная оболочка Земли состояла из пресной воды:

... «было некогда время, когда весь Океан и все протчия моря состояли из воды пресной»... [3, § 145].

Затем после возникновения материков, реки, растворяя соль из слоев земных, привносили ее в океаны и моря, где она постепенно скапливалась в морской воде. Соль со временем все больше концентрируется в океанах. Однако «матерая земля» не беднеет солью, так как ее запасы пополняются организмами. Организмы — создатели соли. Соли на Земле не было до появления организмов. Значительное количество организмов создают своей жизнедеятельностью соль, хотя некоторые из них (например рыбы, живущие в соленой воде) химически разрушают ее. Таким образом с появлением организмов на Земле возникает новый внешний фактор изменения лика ее и новые особенности в истории Земли [3, 9]:

«Соль по доказательствам родилась долговременным пресных вод стечением в море, приносящих с собою сие произведение из разрушения животных и растений, как то изъяснено в слове о рождении металлов от землетрясения» [3, § 161].

ВОПРОСЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ХРОНОЛОГИИ

Если концентрация соли в мировом океане со временем постепенно возрастает, то, следовательно, можно по количеству соли, находящейся в порах пород морского происхождения, определять относительный возраст этих пород. Ломоносов вплотную подошел к вопросу геохронологии. Однако он указывал, что этот предложенный им метод определения относительного возраста земных слоев не является безоговорочно приемлемым во всех случаях. Этот метод неприменим к рыхлым (водопроницаемым) породам, как то песок и др., из которых соль могла быть выщелочена со временем:

«Отрещись не льзя, что песок и другия некоторыя материи, кои уже во время морской солености произошли в натуре, могли соль из себя потерять промывкою от верхних вод то есть речных и дождевых» [3, § 147].

И далее он развивал интереснейшие мысли о том, что так как большая часть пород, из которых соль не могла быть выщелочена, содержат ее очень мало или совсем ее не содержат, следует считать, что еще до происхождения соли на земле:

...«много большая часть великих и главных перемен земнаго глобуса учинилась»... [3, § 147],

т. е. история земной поверхности более длительна до возникновения соли, нежели с начала ее возникновения до настоящего времени. Соль же, как мы видим, возникла только с появлением организмов на Земле. Таким образом доорганический, досоляной период в истории Земли был гораздо продолжительнее, чем органический, соляной. Насколько же продолжителен этот последний, можно судить по тому, что возраст одного из эпизодов в истории органического мира, а именно — существования мамонтов в северных широтах, определяется в сотни тысяч лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В своих геологических сочинениях [1, 3, 9], а также в письме к И. И. Шувалову «О пользе стекла» [12] Ломоносов разработал учение о воде как о геологическом факторе развития Земли, и в этом вопросе он большое значение придавал подземной воде. Его учение является основой той науки, которая оформилась более чем на 100 лет позднее под названием гидрогеологии.

В своих сочинениях он противопоставлял воду на поверхности и огонь (химические процессы горения) в недрах, как две стороны одного процесса в развитии Земли, и в этом отношении его идеи были гораздо более передовыми, чем теории Вернера (и нептунистов вообще) и Геттона (и плутонистов вообще) в Западной Европе, боровшихся на протяжении нескольких десятков лет в конце XVIII и начале XIX вв., вплоть до времен Ляйеля. Ломоносов уже в середине XVIII в. снял это противоречие в науке о Земле, указывая, что в развитии Земли имеют место и внутренние процессы (главным образом химические, приводящие к большим механическим движениям) и внешние (главным образом процессы, связанные с круговоротом воды). И хотя он полагал, что в истории Земли до настоящего времени ведущее значение имели внутренние процессы горения, однако он не считал, что соотношения между внутренними и внешними факторами остаются постоянными в этой истории. Эти соотношения меняются в сторону постепенного уменьшения роли внутренних процессов горения, следовательно, увеличения роли внешних процессов, связанных с круговоротом воды. В этом отношении его взгляд на развитие Земли был гораздо более передовым, чем взгляды многих послеляйелевских актуалистов второй половины XIX в.

В настоящее время, когда СССР является родиной возникновения и могучего развития новой отрасли геологических наук — геохимии, когда в нашей стране огромное развитие получила молодая отрасль геологических наук — наука о подземных водах — гидрогеология, перед нами

встают новые очередные теоретические проблемы, близкие к тем, которые предвидел великий русский ученый Ломоносов. Учение Ломоносова о природных водах как о растворе, о круговороте и миграции элементов и солей в связи с круговоротом воды, о воде как о решающем факторе многих геологических процессов, о ее роли в истории Земли — является отправным пунктом современных теоретических изысканий. Мы вновь и вновь обращаемся к бессмертному наследству великого гения Михаила Васильевича Ломоносова.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. В. Ломоносов. Первые основания металлургии или рудных дел. 1742 г. Соч. М. В. Ломоносова, изд. Акад. Наук, т. VII, 1935.
2. М. В. Ломоносов. О вольном движении воздуха, в рудниках примеченном. 1744 г. Там же.
3. М. В. Ломоносов. О слоях земных. Конец 1750-х гг. Там же.
4. М. В. Ломоносов. Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможнаго проходу Сибирским океаном в Восточную Индию. 1763 г. Там же.
5. М. В. Ломоносов. Химическия и оптическия записки. Там же.
6. М. В. Ломоносов. Мысли о происхождении ледяных гор в северных морях. 1763 г. Там же, на шведском языке.
7. М. В. Ломоносов. О нечувствительных физических частицах, составляющих тела природы, в которых заключается достаточное основание частичных свойств этих тел. 1742—1743 гг. Соч. М. В. Ломоносова, изд. Акад. Наук, т. VI, 1934.
8. М. В. Ломоносов. Курс истинной физической химии. 1752—1754 гг. Там же, по-латыни; русский перевод см. у Меншуткина [23].
9. М. В. Ломоносов. Слово о рождении металлов от трясения земли. 1757 г. Соч. М. В. Ломоносова, изд. Акад. Наук, т V, 1902.
10. М. В. Ломоносов. Рассуждение о большей точности морского пути. 1759 г. Там же.
11. М. В. Ломоносов. Слово о явлениях воздушных, от електрической силы происходящих. 1753 г. Соч. М. В. Ломоносова, изд. Акад. Наук, т. IV, 1898.
12. М. В. Ломоносов. Письмо о пользе стекла (И. И. Шувалову), в стихах. 1752 г. Соч. М. В. Ломоносова, изд. Акад. Наук, т. II, 1893.
13. М. В. Ломоносов. Диссертация о действии химических растворителей вообще. 1744 г. По-латыни, русский перевод см. у Меншуткина [23].
14. Билярский. Материалы для биографии Ломоносова. СПб., 1865.
15. П. И. Вальден. Ломоносов как химик. Изд. Акад. Наук, СПб., 1911.
16. П. И. Вальден. О трудах М. В. Ломоносова по вопросу о растворах. Изд. Акад. Наук, СПб., 1911.
17. В. И. Вернадский. История минералов земной коры, т. II, ч. 1, вып. II, 1934.
18. В. М Крейтер. М. В. Ломоносов как геолог-разведчик. Пробл. сов. геол., 1936, № 3.
19. В. М. Крейтер. Поиски и разведки полезных ископаемых. 1940.
20. Б. Н. Меншуткин. М. В. Ломоносов как физико-химик. Изв. СПб. политехн. инст., т. I. вып. 1—2 и 3—4, 1904.
21. Б. Н. Меншуткин. Труды М. В. Ломоносова по физике и химии. Сб. «Труды Ломоносова в области естеств.-истор. наук». Изд. Акад. Наук, 1911.
22. Б. Н. Меншуткин. Михайло Васильевич Ломоносов (жизнеописание). 1911.
23. Б. Н. Меншуткин. Труды М. В. Ломоносова по физике и химии: Изд. Акад. Наук СССР, 1936.
24. Б. Н. Меншуткин. Жизнеописание Михайла Васильевича Ломоносова. Изд. Акад. Наук СССР, 1937.
25. Л. Б. Модзалевский. Рукописи Ломоносова в Академии Наук СССР. Научное описание. Акад. Наук СССР. Труды Архива, вып. 3, 1937.
26. Ф. Н. Чернышев. Отзыв о геологических сочинениях М. В. Ломоносова. Соч. М. В. Ломоносова, изд. Акад. Наук, т. V, 1902.

Д. И. ГОРДЕЕВ

АКАДЕМИЧЕСКИЕ ЭКСПЕДИЦИИ ВТОРОЙ ПОЛОВИНЫ XVIII в. И ИХ РОЛЬ В РАЗВИТИИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ В РОССИИ

Укрепление и территориальный рост Русского государства в конце XVII и начале XVIII вв., развитие товарно-денежных отношений, рост торгового капитала, осваивающего производительные силы страны, усиление международных торговых связей России, особенно в связи с восстановленными выходами к Балтийскому, Азовскому и Каспийскому морям, способствовали интенсивному росту мануфактурной промышленности. Этот процесс роста ускорялся всем комплексом мероприятий Петра I. Петр I осознавал необходимость развития промышленности и изучения естественных производительных сил страны; по его инициативе был организован ряд крупных экспедиций. Главнейшие из них: 1) экспедиция по изучению Каспийского моря (1715—1720), 2) экспедиция Мессершмидта в Сибирь (1719—1727), 3) экспедиция Беринга (первая Камчатская экспедиция, 1729—1730).

Создання в 1725 г. Петром I Академия Наук с первых же лет своего существования организовала для тех же целей несколько экспедиций. Самой важной из них была вторая Камчатская экспедиция (1733—1743), в которой приняли участие крупные ученые того времени: Беринг, Гмелин (старший), Миллер, Де-лиль-де-ла Кройер, Фишер, Стеллер, Крашенинников. Одним из результатов этой экспедиции явился труд С. П. Крашенинникова «Описание земли Камчатки» [9], изданный уже после смерти автора, в 1756 г., по настоянию М. В. Ломоносова. В этом труде впервые опубликованы сведения о реках, озерах и ключах Камчатки, в том числе о горячих минеральных водах.

Значение таких экспедиций для выявления природных богатств Русского государства и для развития наук в России особенно ясно сознавал великий русский ученый М. В. Ломоносов (1711—1765). Он настойчиво добивался организации целого ряда географических, астрономических и океанографических экспедиций. Его деятельностью была подготовлена почва к осознанию их необходимости в широких кругах русского общества. Многие организационно подготовленные им экспедиции были осуществлены уже после его смерти.

Во второй половине XVIII в. Русское государство значительно расширилось территориально (присоединение восточной части Белоруссии, части Украины, Крыма, северной части Казахстана, рост влияния России на Кавказе и в Закавказье и др.). В стране продолжала развиваться крепостная мануфактурная промышленность, особенно горнозаводская и текстильная, а также различная кустарная промышленность;

обозначались центры горнозаводской промышленности: Урал, Алтай, Забайкалье. Наряду с продолжавшимся экспортом леса, железа, сельскохозяйственных продуктов, значительно вырос экспорт южнорусской пшеницы. Сравнительно быстрое развитие товарно-денежных отношений вызывало необходимость изучать естественные производительные силы страны, что начинало тогда сознавать русское правительство во главе с Екатериной II.

По ее инициативе, через три года после смерти Ломоносова, в 1768 г., организован целый ряд экспедиций для познания территории России. Для всей второй половины XVIII в. характерно большое количество крупных русских экспедиций. Особенно много их приходится на 1768—1774 гг., которые заслуживают быть вписанными в историю русской культуры под названием эпохи академических экспедиций. Это следующий, после Ломоносова, крупный этап в развитии русской науки. Главные из этих экспедиций следующие.

1. Экспедиция И. И. Лепехина (1768—1772), обследовавшая Среднее и Нижнее Поволжье, Нижний и Средний Урал и часть Архангельской губ.; одним из участников этой экспедиции — студентом Озерецковским самостоятельно обследовано восточное побережье Белого моря и Тиманский берег до р. Индиги, а также западная часть Кольского полуострова.

2. Экспедиция П. С. Палласа (1768—1773), обследовавшая Нижнее и Среднее Поволжье, Оренбургский край, Урал, Западную и Восточную Сибирь, Забайкалье (Даурия); одним из участников этой экспедиции — студентом Зуевым самостоятельно обследовано среднее и нижнее течение рек Оби и Енисея, а студентом Соколовым — восточная часть Северного Кавказа.

3. Экспедиция И. П. Фалька (1768—1774), обследовавшая Оренбургский край, Среднее и Нижнее Поволжье, предгорья Северного Кавказа, Южный Урал и Западную Сибирь до Томска и Кузнецка.

4. Экспедиция И. Г. Георги (1770—1774), обследовавшая Сибирь от Томска до Нерчинска (особенно подробно окрестности оз. Байкал), а на обратном пути — Верхнее Поволжье.

5. Экспедиция С. Г. Гмелина (1768—1774), обследовавшая район низовьев Дона, Нижнее Поволжье (от Царицина до Астрахани) и Персию.

6. Экспедиция И. А. Гильденштедта (1768—1774), обследовавшая район верховьев Дона и его притоков Хопра и Медведицы, Нижнее Поволжье, Северный Кавказ и Закавказье, а на обратном пути — Приднепровье, начиная от порогов Днепра до Киева.

7. Экспедиция Н. П. Рычкова (сына П. И. Рычкова) (1769—1771) в район между Волгой и Уралом, вдоль Камы, Вятки, Белой и др.; с запада на восток от Симбирска до Екатеринбурга и с севера на юг от г. Чердыни до Оренбурга. Кроме того, Рычков совершил в 1771 г. экспедицию в составе военного отряда от г. Орска в глубь киргизских степей Средней Азии.

8. Экспедиция И. И. Лепехина (1773) в Белоруссию.

9. Экспедиция В. Ф. Зуева (1781—1782) в левобережную Украину до Херсона и далее в Крым.

10. Экспедиция Н. Я. Озерецковского (1785, 1805, 1814) на Ладожское и Онежское озера (1785), в Старую Руссу (1805) и на истоки Волги (1814).

11. Экспедиция П. С. Палласа (1793—1794)—по маршруту его первой экспедиции до Астрахани, затем по Северному Кавказу и побережью Азовского моря — в Крым.

12. Ряд экспедиций Эрика Лаксмана (1762—1796) — в Олонецкий край, южную часть Финляндии, в Румынию, в Царицин, в Астрахань, в Сибирь — до Якутска и Охотска [10].

Первые четыре из числа указанных экспедиций формально считались одной экспедицией под названием «Оренбургской», две следующие также формально считались одной экспедицией под названием «Астраханской», но все они были по существу самостоятельными.

Кроме перечисленных 12 экспедиций, в 1769 г. были организованы несколько экспедиций для астрономических наблюдений (над прохождением Венеры) в Колу, Умбу, Астрахань, Гурьев, Якутск, в которых принимали участие Румовский, Иноходцев, Ловиц, которые попутно также собирали материал о природе страны.

При организации экспедиций была предложена общая инструкция Академии Наук, в которой указывалось, что путешественники должны подробно исследовать свойства почв и вод, способы обработки свободных земель, состояние земледелия; исследовать пчеловодство, шелководство, скотоводство, особенно овцеводство; обратить внимание на минеральные богатства и минеральные воды, на искусство, ремесла и промыслы каждой провинции, на растения и животных, на форму и внутренность гор и вообще на все отрасли естественной истории; заняться географическими и метеорологическими наблюдениями; астрономически определить положение главных местностей; собрать все, касающееся нравов, обычаев, верований, преданий, памятников и различных древностей; исследовать более распространенные болезни среди людей и животных и изыскать средства к их лечению и предупреждению.

Организуя эти экспедиции, Академия Наук прислушивалась к запросам различных общественных и хозяйственных организаций. На свой запрос она получила от них ряд наказов и пожеланий. Так, Вольное экономическое общество просило:

«Где найдут или от обывателей им объявлены будут отменнаго от простой воды вкусу, ключевыя, речныя или озерныя воды, то над оными делать опыты, чтоб узнать, не окажутся ли такия целительныя и минеральныя воды, каковы на пример зельцерския, спашския, пирмонтския и тому подобныя» [27, стр. 476].

Государственная Медицинская коллегия просила:

«Не меньше внимания обратить бы должно и на рассмотрение находящихся около Астрахани источников и родников, а особливо доноситься, не можно ли открыть там каких нибудь признаков бывшего в прежния времена столь славнаго петровскаго целительнаго источника, и где оный примечен будет, описать обстоятельно находящуюся в окрестности его землю» [27, стр. 478—479].

Государственная Коммерц-коллегия наказывала:

...« изыскивать такожде всякие минералы, руды, камни, земли, соли и все то, что может служить к распространению истории натуральной» [27, стр. 480].

Экспедиции выполнили инструкции Академии Наук и наказы и пожелания других организаций. Они собрали значительный материал о природе России.

Влияние русских экспедиций второй половины XVIII в. и особенно 60—70-х гг. XVIII в. на поднятие общего уровня русской науки и мировой культуры было весьма значительно.

Эти экспедиции, охватившие огромные территории России, доставили обильный материал для познания природных, в частности минеральных богатств страны. Они доставили материал для первых широких географических и геологических обобщений по территории Российской империи, выполненных сначала И. Г. Георги в 1797—1800 гг., затем В. М. Севергиным в начале XIX в., которые в свою очередь послужили основой для первых геологических карт России в первой половине XIX в. Они впервые в России собрали большой материал о метеорологических условиях различных частей ее территории. Экспедиции доставили богатый материал о поверхностных водах обширной территории Русского государства: о реках, озерах, частью морях; в описании путешествий приведено много данных о ширине, глубине, скорости течения рек, качестве воды в них, сроках ледостава и вскрытия и другие гидрологические сведения.

Эти экспедиции впервые в России собрали большой материал о неглубоких «подземельных» водах обширной территории Русского государства: о «подземельных» реках, пещерах, провалах, о пресных, соленых, серных и других ключах, о соленых озерах и т. д.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ПОВОЛЖЬЮ И УРАЛУ В ЗАПИСКАХ И. И. ЛЕПЕХИНА

Лепехин [11] в своих записках отмечает незамерзающие зимой ключи чистой воды из известняков в бассейне р. Пьяной; обильные ключи, дающие истоки р. Сок. О хорошей подземной воде в Поволжье, в Тетюшах он говорит:

«Разстоянием от поверьхности земной на две сажени в боку рытвин пробивают многие источники с весьма чистою и приятною водою, которая от Тетюшских жителей на все нужды, да при том и с большею пользою употребляется, нежели Волжская вода, которая мутна и жестковата» [11, ч. 1, стр. 303].

Он отмечает, что в пригороде Саратова «бьющими ключами орошаются» тутовые деревья шелковой фабрики. Там же, близ г. Саратова в небольшом овраге, называемом Ключевым, имеются:

«разные ключики, которые изпускают чистую прозрачную воду, и которые не с большим приютом и иждивением могли бы напаять Саратовских жителей, из которых по близости к Волге живущие довольствуются Волжскою всегда мутною водою, а в нутри города обитающие употребляют весьма дурную из городского буерака» [11, ч. 1, стр. 377].

А говоря о жителях Сарпинского селения на р. Сарпе, он замечает:

«Низменныя горы, с лишком в версте от их усадьбы находящиеся, снабдевают их прозрачною и приятною водою. Они с сих гор провели деревянныя трубы, и посреди своего жилища сооружили обширное вод вместилище с насосами, из котораго довольствуются и все проезжающие. Из сегож вместилища во все жила проведены трубы на Голландской образец, где каждая хозяйка в своей поварне завсегда столько имеет воды, сколько ей потребно» [11, ч. 1, стр. 443—444].

Лепехин особое внимание обращает на соленые воды. Так, он отмечает: «солодковую» (солоноватую) воду в колодцах слободы Никольской, что против г. Дмитриевска: ключи соленой воды по речке Усолке в Сызранском Поволжье (остатки бывш. солеварен, там же), по берегу Волги у с. Паншина (обилие солончаков там же), более 30 соленых

ключей по р. Усолке в окрестностях г. Табынска (соляные варницы там же), соленый ключ по р. Авзяну вблизи Катав-Ивановского завода. Он описывает много соленых озер Прикаспийской низменности, в частности озеро Эльтон (Елтон), соленые реки, впадающие в это озеро, и пресные ключики около самого озера, вероятно разбавляющие, по его мнению, рассол в озере.

В связи с общим интересом к хозяйственной проблеме солеснабжения Русского государства, Лепехин собрал большой материал о солеварении в ряде пунктов. Описывая Сереговские варницы на р. Выме, он отмечает, что там имеются две трубы: одна («Богдан»), глубиною 93 саж. 10 вершков, другая («Мусовать») глубиной 83 саж. 10 вершков, а соли вываривается в двое суток 150—180 пудов или 150 000 пудов в год. При варницах Соль-Вычегодской есть также две трубы: одна глубиною 14.5 саж., другая 5 саж. На левом берегу Сев. Двины, в 15 км от с. Яркурья при соляных варницах три трубы — две в 17 саж. и одна в 18 саж. глубины; соли вываривается в четверо суток 80—100 пудов. Соляные варницы описаны также на Севере по р. Неноксе (Нионаксы) и при устье р. Уны. Описывая варницы Соли-Камской, он замечает:

«Употребляемую в пищу соль двояким у нас называют именем: одну пермянкою, а другую бузуном. Пермянкою называют всякую из россолу вываренную соль, которое слово без сумнения произошло от Пермии; из чего заключить можно, что в здешней стороне прежде научилися мы соль ключевую вываривать. Чрез бузун разумеется всякая самосадка, и так называемая горная соль» [11, ч. 3, стр. 132].

Останавливая внимание на природе соленых ключей Соликамска, он говорит:

...«точнаго положения земных слоев соленыя ключи покрывающих неизвестно»...«известно, что повсюду россол покрывается твердым известным камнем, а почву соленых источников составляет синеватой или мелкой белой кварцовой песок; что все о бывшем морском дне свидетельствует.

Глубина, в которой соленые ключи протекают, не везде ровная, инде сажен на 30, а инде сажен до 50 простирается, из которой россол достают сложными насосами и проводят прямо в сирены чрез жолоба» [11, ч. 3, стр. 129].

Лепехин отмечает в своих записках минеральные, в частности серные воды. Так, серные ключи он отмечает в Поволжье — по р. Шунгут, где окрестные жители вынуждены пользоваться колодезной водой, так как речная вода из-за серных ключей имеет горький вкус и черный цвет, по р. Молошной, в Троекуровском озере близ Сызрани, по р. Сарпе у Сарпинского селения; в Приуралье — при д. Баганяш в бассейне р. Белой; по р. Иргине Кунгурского края и др. В Куйбышевском Поволжье в бассейне р. Сок близ д. Семеновой он описал ключ воды с нефтью — «нефтяной ключь», «смольный ключь», там же «серный источник» [11, ч. 1, стр. 197—200].

Лепехин много уделяет внимания исследованию и описанию пещер Урала и Приуралья. Так, он описывает многочисленные пещеры в бассейне Белой, несколько пещер в окрестностях г. Табынска, пещеру в Ледяной горе под Кунгуром, пещеру близ Красноуфимска, ряд пещер на севере Приуралья (по р. Любве на Белой горе, по р. Чикман на горе Сюзеевской камень, в бассейне р. Яйвы, по р. Сев. Двине близ д. Взвоз, пещеры в волжских берегах в районе Дмитревска. Он не только подробно описывает морфологию пещер, но и делает ряд гидрологических и термометрических наблюдений в них.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ В РАБОТАХ П. С. ПАЛЛАСА

Не менее обширный описательный материал подобного же характера получен в результате путешествия Палласа. Паллас [19] на пути от Петербурга через Москву — Владимир — Муром — Арзамас — Саранск — Пензу в Южное Поволжье неоднократно отмечает в своих записях источники и «ключевые» колодцы с пресной, чаще всего «студеной», по его характеристике, водой в центральных частях России (близ озера Ильмень, на р. Клязьме, выше г. Покрова и пр.). Такую же пресную «студеную» воду в ключах он неоднократно отмечает в Самарском Поволжье (по Волге и бассейне р. Самары), где характеристику воды он иногда дополняет словами, что она «весьма жестковата». А по р. Усолке (там же) отмечает наряду с пресными источниками и соленые, а также бывшие здесь солеварни. В записях путешествия он отмечает иногда по пути своего следования условия сельского или городского водоснабжения. Так, он особенно подробно останавливается на вопросе о недостатке пресной грунтовой и поверхностной воды в Ишимской степи; указывает на отсутствие хорошей питьевой воды в некоторых местах Алтая (развалины Аблакита), в реке и колодцах Барнаульского завода, в окрестностях Томска, а также в г. Кяхте (в Забайкалье), где в колодцах вода с горькой солью и известью и «самой лучший чай портит и густит». Отмечает безводность степи близ Хара-Ноора в окрестностях Торейского озера.

Паллас собрал очень большой материал о соленых водах, особенно соленых озерах Прикаспия и Зауралья. Он описывает многочисленные соленые источники и речки, а также засоленные почвы на протяжении от Самарской Луки до Урала, отмечает выходы соленых вод по берегам Волги ниже Сталинграда. Его сотрудник Соколов описывает соленые ключевые и ручьевые воды, соленые озера, лужи, солончаки Куманской степи в Предкавказье. Особенно подробно Паллас описывает соленые озера степей: Калмыцкой (озера: Эльтонское, Узенские), Киргизской (озера: Грязное, Индерское, Гурьевские, озеро Илецкой Защиты), Исетской (озера в окрестности Челябинска), Ишимской, Барабинской, а также юго-восточного Забайкалья. При описании многочисленных соленых озер указанных степей Паллас часто определял гидрометром («водомером») крепость раствора в градусах и записывал результаты этих определений. Он подмечает целый ряд интересных частностей: так, в Калмыцкой степи, при общем недостатке пресной питьевой воды, среди калмыцких копаней, содержащих плохую воду, иногда находятся колодцы с хорошей водой; особенно это относится к песчаной степи Нарын, изобилующей в общем солончаками и солеными озерами; при описании пещер Индерских гор в Киргизской степи указывает на отсутствие здесь пресных вод, кроме временной дождевой воды в водопойных ямах («ропаны»), и на наличие соленых источников; при описании Илецкой Защиты указывает на колодец у подошвы «гипсовой» горы с хорошей пресной водой; вообще же в перечисленных степях, особенно в Зауралье, часто чередуются пресные, горькие и соленые озера, лужи и болота.

Паллас отмечает выходы различных минеральных вод в Поволжье, Зауралье, Забайкалье. В бассейне р. Сок (в Куйбышевском Поволжье) он описывает группу «нефтяных ключей», а также серных ключей, луж, озер, испускающих запах «горючей серы» и «гнилых яиц»; он производит термометрические наблюдения над нефтяными ключами, производит химические анализы серной воды в озерах и ключах; кратко излагает предположение о генезисе серных ключей и скоплений серы в этом районе. Отмечает горячий лечебный родник по речке Халан-Уссу в бассейне р. Кыры в Даурских горах и другой такой же родник в бассейне р. Чикоя в Становом («Ябленном») хребте.

Паллас, как и Лепехин, много уделяет внимания исследованию и описанию пещер. Так, уже несколько южнее Арзамаса (в бассейне р. Пьяной) он описывает в трех пунктах (дд. Лопатина, Капара, Барнукова) провалы и подземные пещеры, которые и объяснил вымывающей деятельностью текущей подземной воды в известняках и гипсах. Описывает пещеры в известняках по берегу Волги у Сокольих гор (вблизи Самары), провалы на поверхности в районе Самары, пещеры Алтая.

Особенно же много пещер описано им в башкирском Приуралье. Кроме подробного описания морфологии пещер, Паллас производил гидрологические и термометрические наблюдения в них.

В Забайкалье Паллас отмечал явления, видимо связанные с долголетней («вечной») мерзлотой; так, в казарме Кулуссутаевского караула он в точных выражениях описывает явление пучин и выхода мерзлотных вод в нагретых постройками местах:

... «на свежем и сухом месте под печкою пробил новый сильный родник, что, правда, в здешней стране и не редко, бывает, так что в сухом месте, гдеб не надеялись, пробьет вода с приметным земли возвышением» [19, ч. 3, кн. 1, стр. 297].

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ В РАБОТЕ И. П. ФАЛЬКА

Большой описательный гидрологический и гидрогеологический материал собран также в результате путешествия Фалька [31]. Фальк также останавливал свое внимание и записывал встречавшиеся ему случаи выхода на поверхность пресных вод (источники в верховьях р. Ишим в горах и др.), особенности реки и озера и другие гидрологические явления: реки и озера Зюнгории; следы реки, соединявшей Арал с Каспием; отметил тот факт, что вода р. Кумы в низовьях ее теряется в песках. Где не представлялось возможным видеть самому, он записывал с рассказов других лиц: так описаны им колодцы и ключи на пути от Семипалатинска в Каргос и Кулчу, а также от Оренбурга до Хивы; о г. Бухаре указано, что в него «проведена вода каналами из Кока», а в окрестностях много садов, «вся страна по причине каналов возделана весьма правильно».

Но особенно подробно Фальк описывал соленые воды — источники, озера. Он отметил выходы соленых источников по рекам Шелонь и Ловать между Новгородом и Тверью; солончаки и общую соленость почв и вод Куманской степи; солончаки и островки пресной неглубокой воды среди соленых вод Калмыцкой степи (между реками Волгой и Уралом); солончаки, соленые озера, источники Киргизской степи (к востоку от р. Урал), где он производил гидрометром замеры концентрации рассолов в озерах; описал озера Исетской степи (между Исетью. Тоболом), которые разделил на: 1) пресные, 2) солодковые (солоноватые), 3) горькие, 4) пустые (высыхающие и вымерзающие), 5) соленые; указал, что Ишимская степь (между Тоболом и Иртышом) и южная часть Барабинской степи (между Иртышом и Обью) изобилуют солеными озерами; часть из них он описал.

Описывая солеварню на левом берегу р. Сылвы у д. Красноярской, он отметил, что она:

... «имела колодезь глубиною в 40 саж. и выварила на 14 сковородах в сутки 420 пуд. поваренной соли, но при новом соловарном разпоряжении, в 1760 году упразднена и ныне запустела» [31, ч. 1, стр. 292].

Так же как Лепехин и Паллас, Фальк много внимания уделял пещерам; так, он отметил, что по берегам рр. Суры и Пензенки имеется много «гипсовых пещер», описал пещеры по р. Губерлы (приток Урала), в бассейне р. Исеть, на г. Богдо, Кунгурскую пещеру по р. Сылве, провалы в ее окрестностях; он отметил:

«Около Серьги и между Уфою, Иреном и Сильвою страна высокая, мергельная, со многими провалами, произшедшими вероятно от подмывания мергеля ключами» [31, ч. I, стр. 258].

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В РАБОТЕ С. Г. ГМЕЛИНА

Гмелин младший [6], как и Лепехин, описал условия водоснабжения с. Сарпинского на р. Сарпе, а также колодцы г. Дербента:

«Дербентские колодцы заслуживают всякое внимание. Ключей или родников на ближайших горах есть очень много. Из них вода через трубы и высеченные каналы проведена в крепость и оттуда в прочия части города. Вместилища воду содержащия иныя без крышек, а другия покрыты. В них вода течет только из одной трубки, хотя числом их и много, а не только близь лежащие, но также и весьма отдаленнейшие ключи подают надежное жителям Дербентским средство от жажды» [6, ч. 3, пол. 1, стр. 20—30].

Гмелин описал соленые источники Старой Руссы, соленые озера окрестностей Баку, Сальян, а также ряд озер в прикаспийском Поволжье. Описывая озеро Баскунчак, он пишет:

«Однако при сем соленом озере есть много и пресной воды в выкопанных в долинах около Богды колодцах. На самой горе позади южной стороны соленого озера есть природной, чистой источник, не смотря на то, что близь его другой совсем соленой находится» [6, ч. 2, стр. 19—20].

Он описал ряд минеральных источников: два серных источника в Сарпинских горах вблизи Сталинграда, ключ «марциальной» (железистой) воды у Либицких (Липецких) заводов в районе Воронежа, горячие соленые ключи лечебного значения в районе Сальян, в которых он видел сходство с «Петровскими теплицами» на р. Тереке; подробно описал Бакинские нефтяные колодцы.

Гмелин собрал большой гидрологический и гидрохимический материал по Каспийскому морю; записал материал замеров уровня Волги в Астрахани за апрель, май, июнь 1770 г., сопоставив даты половодья Волги у Астрахани, Черного Яра и Сталинграда. Описал пещеру близ Дербента; описывая гору Богдо, отметил там пещеру; действием подземной воды объяснил провалы у г. Дедилова (близ Тулы).

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОПИСАНИЯ И. А. ГИЛЬДЕНШТЕДТА

Гильденштедт [4] в результате своего путешествия также доставил большой описательный материал, главным образом по кавказским соленым и минеральным водам. Он исследовал в северо-восточной части

Кавказа нефтяные и различные минеральные теплые источники (в химическом и бальнеологическом отношении). Описывая гидрографию бассейна Терека, он дает сведения о теплых минеральных водах: 1) Петровских, известных со времен Петра I и по его повелению исследованных в 1717 г. врачом Шобером, 2) Екатерининских, 3) Павловских, 4) Орловских, 5) Андреевских или Мариинских.

Гильденштедт отметил, что в северном передовом хребте Кавказа, в «Известковых горах», изредка попадаются соленые источники, а в «песчанокаменных горах» имеются теплые серные ключи, теплые источники «горного масла» (нефти) и поваренной соли, а также ряд солей и минералов; в Араратском передовом хребте имеются ключи «горного масла» и соленые источники; в южных передовых горах Кавказа, в Кахетии — «ключи поваренной соли» и «горного масла», а по р. Куре близ Тбилиси — теплые серные ключи; в Кахетии — в долинах много родников чистой прозрачной воды, осаждающих местами известковый туф. Описывая гидрографию бассейна Куры, он отметил, что в окрестностях Тбилиси запрудами и протоками от Куры орошаются сады. В местности Ахтала он описал два колодца, соединенных между собою «посредством протоков»:

«Говорят, что на сем месте была деревня и что она провалилась. Поелико часто здесь ощущаемы бывают землетрясения, то легко мог обрушиться свод подземной пещеры» [4, стр. 48].

В западной части южных известковых гор Кавказа (в Имеретии) Гильденштедт отметил ряд минеральных, щелочно-соляных, железистых, серных ключей, «туфовый ключ», один подземный ручей. Описывая гидрографию бассейна р. Риона, он отметил соленое озеро близ Гори и указал, что:

«В Утсере (Ушере) находятся разные минеральные ключи, частию алкалические, частью марциальные, и точно такие, как и на Тереке при Сиони и Коби. Превосходнейший из них один алкалической, а другой подле него марциальный находится неподалеку от церкви. Оба содержат в себе много эфиру. Примечания достойно, что сии целительные ключи столь друг от друга близки, будучи в хронических болезнях оба существенно нужны. Марциальныя воды употребляются после алкалических» [4. стр. 324].

Он указывал, что в Имеретии ручей Херги местами имеет подземное течение в известняках; вдоль ручья имеется ряд пещер. Пещеры отмечены им и в других пунктах Кавказа.

Гильденштедт на обратном пути своего путешествия проехал через Киев. Он описал [26] пещеры Печерской крепости Киева, отметил несколько «хороших» колодцев Старого Киева и подробно осветил условия водоснабжения низменной части города («Подол»), где:

«в нескольких шагах от ратуши, среди ярмарочной площади под каменным куполом — колодезь с каменными стенками. Посредине колодца на пьедестале стоит статуя, в правой руке держащая большую кружку, из которой постоянно течет вода. Для устройства этого главного колодца воспользовались ручьем, при помощи подземных труб, и отвели воду к колодцу. Из последнего, тоже при помощи труб, вода проведена во многие другие колодцы, устроенные на улицах города. Они обшиты деревом, имеют сажень в поперечнике и обшивка их подымается всего на 3 фута над поверхностью земли, так что из них очень удобно черпать воду. По маленькому каналу, идущему через город вдоль частокольной стены, вода стекает в Днепр» [26, стр. 8—9].

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОПИСАНИЯ В РАБОТЕ Н. П. РЫЧКОВА

Значительный описательный материал о поверхностных и подземных водах страны собрал за время своих путешествий Рычков [23, 24, 25]. Он обратил внимание на особое обилие поверхностных и неглубоких подземных вод в Казанском и Вятском краях. Так, он пишет:

«Далее пригородка Малмыша, по пути ведущему к городу Уржуму находятся места столько ж лесистыя, как и во всей той части Вятской страны, которая составляет собственный уезд Казанской губернии. Зе́мли, лежащия на западной стороне реки Вятки, суть по большой части черноземныя, напаяемыя множеством протекающих тамо источников и рек» [24, стр. 19].

Описывая истоки (болота, источники, ручьи) р. Камы, он заметил, что:

«По причине множества болот, в вершинах ея находящихся, и от великого числа источников, истекающих из гор, лежащих по ея берегам, сия река кажется воднее самой Волги» [24, стр. 74].

Рычков подробно остановился на описании соленых вод и варниц близ Соликамска (с. Усолье, с. Веретий, с. Усть-Зирянка, с. Дедюхино) и самого Соликамска, указав при этом, что самую воду добывают путем насосов в деревянных трубах; что глубина соленых вод от поверхности различная: 35, 40, 45 саж. и ниже уровня Камы, крепость рассола в различных источниках разная; что несмотря на то, что рассол для солеварения добывается уже более 100 лет, «не приметно, чтобы количество соленых вод умалялось».

Он описал ряд пещер Приуралья, в которых производил гидрологические и термометрические наблюдения и образование которых объяснил действием текущей воды. Отметил, что в вершине р. Сок (Поволжье) водотоки источников исчезают под руслом, а несколько ниже вновь появляются на поверхности. Прерывистые русла он отметил также для Камышлы и Иргиза в Киргиз-Кайсацкой степи. В этой степи он описал ряд соленых озер и отметил в бассейне р. Кара-Тургая следы старинных заброшенных ирригационных сооружений (когда-то живших здесь ногайцев).

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И. И. ЛЕПЕХИНА В БЕЛОРУССИИ И ЗАПАДНОЙ ОБЛАСТИ

Лепехин [30] во время своего путешествия в Белоруссию в одном из рапортов в Академию Наук об окрестностях Пскова писал:

«Известной камень везде производит соленые ключи; сему закону последует и псковский плитник; ибо в 20 верстах находится ручей, Солонцем прозываемый, на котором в старину бывали соленые варницы, но за малым выходом соли уже давно запущены» [30, стр. 553].

В другом из рапортов о верховьях р. Зап. Двины указывал:

«При селе Дубне многие на берегу реки Двины протекают ключи, которые чрез слои колчедана протекая, вбирают в себя минеральные частицы; но о сих ключах имп. Академия Наук довольное известие имеет» [30, стр. 555].

В последнем замечании имеются в виду, вероятно, материалы Гильденштедта, который в 1768 г., проезжая из С.-Петербурга в Москву, обследовал район г. Торопца [30].

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В РАБОТЕ В. Ф. ЗУЕВА

Зуев [7] при своем путешествии на Украину особенное внимание останавливал на условиях водоснабжения городов. Так, он отмечает, что водоснабжение Москвы и деревень Московского уезда является главным образом колодезным и частично речным; причем качество вод — и колодезных и речных — низкое:

«Я несколько раз пробывал над тою и другою, примешивая химические растворы, и всегда вода как из колодезей, так и из реки почерпнутая от их млекла, без сомнения, что как та, так и другая много в себе распущенных известковых частиц содержит. При варении она много пенится и по сторонам сосудов оставляет много илу, так что и отчистить оной трудно» [7, стр. 9].

Такое качество речной и колодезной воды характерно для всей полосы России южнее Москвы:

... «на полдень от Москвы вся сия Росия страна уже Невской воды нигде не производит, а по большей части таковоюжь, какая в Москве, орошается» [7, стр. 10].

Водоснабжение Калуги основано на использовании родниковых вод, выходящих из известняков двух буераков и по берегу Оки. Вода хорошего качества, «отменной прозрачности и холодности» и «едва целительною не почитается»,

«хотя по химическим опытам ничего она в себе не содержит, чтоб в каком нибудь целении делало ее употребительною, а содержит, так как и другия воды по здешним буеракам из известковых берегов просякающия, только тонкую известь»... [7, стр. 33].

Родники мощные, так что от одного из них даже проведен жолоб к мельничным колесам. Нагорная часть Калуги снабжается водою из колодцев, которых много, «почти в каждом доме есть один». Глубина колодцев не более двух сажен, вода в них по качеству мало отличается от буерачной.

Очень плохо обстоит дело с водоснабжением Тулы. Здесь:

«Водою жители пользуются из колодезей в коих вода очень дурная; она даже и пареная сверх своей густости и малопрозрачности еще пахнет нечем особливым и противным. Речная вода хотя несколько чище и светлее, однако по причине оружейного завода почти до половины города заперта и нетекуча; а сверх того кожевники по соседству с рекою присвоившие себе право мочить в ей свои кожи, делают ее чрез то у жителей еще менее почтительною, нежели колодезная» [7, стр. 62].

Примерно такое же положение с водоснабжением и Курска, где отмечены массовые заболевания людей и скота от употребляемой воды [7, стр. 153].

В г. Полтаве жители:

«по причине что под гору на Ворсклу ходить за водою трудно, пользуются из колодезей, где вода не очень глубоко достается, однако и не хороша» [7, стр. 205].

Водоснабжение Кременчуга основано преимущественно на колодцах, которые часто заносятся с поверхности песками [7, стр. 215].

По пути маршрута Зуев отметил колодезное водоснабжение 5—6 деревень, указав в некоторых случаях глубину колодцев и качество воды в них. Южнее Полтавы он указал, например, сооружения

колодцев на украинских полях для водопоя скота и орошения поля во время засухи. И по этому поводу сделано заключение:

«Удобство сие можно бы завести и во многих местах России, где на ровном месте ближеб было воду доставать из земли, нежели гонять скот за несколько верст на водопой» [7, стр. 207].

Описывая известняковые ломки по Москва-реке в окрестностях д. Пахры, Зуев изложил свой взгляд на роль воды в процессах разрыхления и уплотнения известняков [7, стр. 16].

В одном месте он отметил по пути «просякающие» (выходящие) «ржавые источники» [7, стр. 21].

При путешествии по Крыму Зуев [8] отметил, что степная часть его изобилует топкими солончаками и солеными озерами, из которых добывают поваренную соль; ручьев и рек мало; в деревнях на каждом дзоре имеется колодец, пользующийся дождевой или стекающей с гор водою; в г. Карасубазар вода по городу разводится каналами из р. Карасу. Он отметил, что такая система водоснабжения характерна для многих пригорных городов Крыма.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В РАБОТЕ Н. Я. ОЗЕРЕЦКОВСКОГО

Озерецковский [15, 16, 17, 18] во время трех своих путешествий по северо-западу Европейской части России также собирал материал о подземных водах. В 1814 г. он посетил [17, 18] истоки Волги и кратко описал питающее их болото, каптированный источник-колодец и берущий оттуда свое начало ручеек, который и является верховьем Волги. Он кратко описал верховье Волги на протяжении около 100 км; отметил ключи чистой холодной воды в берегах озера Селигер [17, 18]; описал соленые ключи и солеварение в Старой Руссе, где ключи «сильно бьют», выбрасывая воду со дна озерка до 13 аршин и более в высоту [15]; соленые ключи у с. Мшаги в 60 км от Новгорода по дороге к Пскову, в с. Подгощах, в д. Угла [15]. На берегу Свири против устья р. Ивины он описал колодец «сажени в три» глубиною и «сажени на полторы» отверстием, о котором говорит, что на самом дне:

... «бючей ключ весьма чистой, серебру подобной воды, которая нарочито была солона, и так сильно била, что в один день наполнился паки колодезь, который целые три дня вычерпывали. Дно колодца каменистое и состоит из плит краснова-таго кварца» [16, стр. 157—158].

Озерецковский описал ряд минеральных источников: в окрестностях Онежского озера [16], в с. Торошковце и по р. Луге в 160 км от Ленинграда, по р. Ловати, по берегам озера Селигер [18], в погосте Ложины [15].

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ П. С. ПАЛЛАСА В КРЫМУ

Паллас [20] при своем путешествии в Крым описал ряд соленых озер и других поверхностных и подземных водопроявлений. В заключение он отметил, что:

«Все ключи и текущия воды в сей стране весьма известковаты и на вкус жестки, но здоровы, студены и в великом находятся изобилии. Страждущие окисанием в желудке пищи в употреблении оных находят себе верное и при том приятное средство» [20, стр. 50—51].

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ Э. ЛАКСМАНА

Много материала о поверхностных и подземных водах России собрал при своих многократных путешествиях Лаксман [10]. Так, в 1760-х гг. он исследовал соленые озера степей от г. Омска до Барабинской степи, вдоль Иртыша и Барнаула до д. Алей; организовал гидрометрические наблюдения на Оби; исследовал горячие источники Усть-Турки в районе озера Байкал (в количестве 7 шт.), над которыми делал термометрические наблюдения (указав температуру в 20—60° R) и химические анализы, и отметил бальнеологическую ценность их; упомянул о наличии по соседству холодных источников пресной воды.

В 1770-х гг. Лаксман посетил соленые источники Старой Руссы, Валдая, верховье и истоки Волги (до Озерецковского), Соловецкого монастыря; исследовал (с производством анализов воды) минеральные «царицынские» воды (в 9 км от Сарепты, в 18 км от Сталинграда).

В 1780-х гг. наблюдал соленые источники по Ангаре, «целительный» ключ у истоков р. Ирета (под названием «Арашан»), пещеры около Балаганска, описал сталактитовую пещеру на р. Уде в окрестностях озера Байкал.

В 1791 г. Лаксман отметил наличие соленых источников в бассейне Вилюя и источников подмерзлотной воды там же, изложив свои соображения о возрасте сибирской мерзлоты.

ЗНАЧЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ И ОПИСАНИЙ В РАБОТАХ АКАДЕМИИ НАУК

Перечисленные экспедиции впервые собрали огромный фактический материал о водных ресурсах обширной территории Русского государства. Но значение их далеко выходит за рамки сбора только фактического описательного материала. Правда, в изложении результатов этих экспедиций описание природных явлений страны преобладает. Но наряду с этим описанием уже дается и научное теоретическое объяснение природных явлений. Делаются первые попытки вскрыть *причинные связи* явлений в природе. Природу начинают рассматривать не только в пространстве, но и во времени, не только в статике, но и в динамике.

Так, например, почти все перечисленные путешественники уделяли много внимания описанию пещер. Лепехин, описывая одну пещеру в окрестностях г. Табынска, задается вопросом о генезисе пещер. Он писал:

«Рождение пещер приписуется двум причинам: или подземному огню, рождающему землетрясение; или источникам подземельных вод. В нашем случае последним должно приписать действие: ибо никакого вещества в них не примечается, которое бы свидетелем было останков возгараемаго начала. Напротив того, последней причины везде явные находятся следы: доказывают то капи, то накипи, которыя иначе произойти не могут, как от разведенной материи в одном элементе» [11, ч. 2, стр. 12].

О другой пещере он говорит:

«Естьли мы посмотрим пристально на отделения пещеры, то удобно понять можно, что сию великую в горе пустоту единственно произвела вода» [11, ч. 2, стр. 88].

И он подробно останавливается на описании процессов размывания и растворения «каменного вещества» (горной породы) подземной и

поверхностной водой [11, ч. 2, стр. 12]. Лепехин отмечает, что многие реки на Южном Урале имеют свое начало из подземных протоков или пещер и часто уходят в подземные пещеры, превращаясь «в подземельные реки». То же явление отмечено и в бассейне Волги — по р. Сок, где начавшийся от обильных ключей водоток вскоре скрывается под руслом и вскоре же вновь появляется [11, ч. 1]. Паллас также останавливал свое внимание на этих вопросах. В частности, при описании пещер Южного Урала он неоднократно отмечал различные явления, связанные с химической деятельностью подземной воды: «капельники», «сосули», «зубчатые завесы», «струистые капельниковые желваки», «капельниковые столпы» и т. д. Многие исследователи отметили, что явления, связанные с растворяющей деятельностью подземной воды (пещеры, провалы, подземные ручьи), приурочены преимущественно к областям широкого распространения и неглубокого залегания известняковых и гипсовых горных пород, а Фальк глубину этих явлений поставил в связь с глубиной эрозионного вреза; так, описав кунгурскую пещеру по р. Сылве, он отметил:

«подошва ея кажется быть в уровень с поверхностью речной воды» [31, ч. 1, стр. 275].

Растворяющим свойством подземной воды некоторые из перечисленных исследователей объясняли химический состав и особенности этой воды. Они подчеркнули связь между химическим составом воды и составом тех пород, через которые она проходит, отметив, что при этом взаимодействии воды и породы меняется состав и той и другой. Идеи М. В. Ломоносова, высказанные в 1740—1750 гг. [12, 13, 14] в этом направлении, получили более широкое и конкретное развитие. Паллас, отмечая в районе г. Благодати у Кушвинского завода колодец с «купоросной» водой, «которую едва пить можно» и которая «сверьху обыкновенно покрывается пленою», ставил это в связь с тем, что колодец докопали «до черной колчеданом смешанной глины» [19, ч. 2, кн. 1, стр. 268]. Тот же Паллас утверждал, что «подземельная» вода может с течением времени и своим собственным течением менять свой состав; так, описывая ключи Сарпинского селения (близ Сталинграда), содержащие глауберову соль, он, задаваясь вопросом их генезиса, писал:

... «частые соляные ключи сея страны, протекая по купоросному слою, удобно могут претворить в своей воде распустившуюся поваренную соль в Глауберову» [19, ч. 3, кн. 2, стр. 184].

Гмелин, отмечая на Валдайских горах по рекам Поломода, Кремеча и Мста многочисленные выходы ключей с «железными» частицами, объяснял физические и химические свойства воды в ключах и реках этого района большим количеством «в горах» колчедана и каменного угля. Разведывая горным буравом и шурфами в районе г. Твери каменный уголь, он специально наблюдал приток воды в выработки, а физические особенности вскрытого рыхлого каменного угля объяснял действием воды на него.

Озерецковский, исследуя в бассейне Ловати большое количество ископаемого черного дуба, писал, что в нем нет:

«ничего более, кроме железных частиц, которыя впивались в него из железистых водяных ключей, какие из берегов Ловоти неприметно в нее протекают» [18, стр. 48].

Описывая в окрестностях Онежского озера минеральные («марциальныя») воды, открытые в 1714 г. при Петре I рабочим И. Ребоевым, Озерецковский так объяснял происхождение железных руд окрестностей:

... «подземныя воды, проходя слоями колчеданистаго сланца, долготою времени состав его разрушают, и распуская в себе частицы онаго, уносят их с собою, а потом вытекая из земных недр, отлагают их на те места, чрез которыя протекают. Отсюда берут свое начало озерныя и болотныя руды, которыми столь изобильно Олонецкое наместничество» [16, стр. 241].

Ломоносов в 1740-х гг. [12] особенно настойчиво указывал на химизм воды как поисковый критерий при поисках и разведках рудных месторождений. Это теоретическое положение Ломоносова получило дальнейшее развитие и практическое приложение в работах перечисленных исследователей. Так, Лепехин, исследовав волжские берега у Сталинграда, сделал заключение, что в них имеются залежи железной руды:

«Доказывают то пробивающие из гор ручейки, которые выносят с собою охру и обсаживают оною лежащие в ручейках камушки» [11, ч. 1, стр. 437].

Паллас, пересекая в бассейне Суры речки Пачолку и Елшанку, указал:

«Думать должно, что в здешней стране находится железная руда, по тому что в разных местах показывались марциальные ключи во время копания» [19, ч. 1, стр. 115].

Некоторые исследователи склонны были считать соленые источники за показатель нахождения вблизи них пластов соли в земле. Озерецковский, говоря о недопустимости массового истребления лесов при солеварении в Старой Руссе, указывал, что соль, вероятно, можно здесь добывать не только путем выварки:

«Но не находится ли она и здесь в земле? не проходит ли вода чрез ея слои, и не получает ли от них своей солености? Стоит труда, чтобы порыться в земле и исследовать» [15, стр. 76].

Выходящие на поверхность соленые источники в свою очередь являются причиной солености почвы, а также воды в реках и озерах. Описывая два соленых озера в окрестностях г. Бирска, Рычков говорил:

«Надобно думать, что оныя озера приемлют вкус от какого ни будь соленого источника, текущего под землею: ибо в наружных частях сих гористых мест не примечается никакого виду солености» [23, стр. 150].

Но не только залежи пластов соли в земных недрах, дающие начало соленым ключам, являются причиной солености почвы или воды рек и озер, но часто эта соленость обусловлена залеганием в горных породах воды морского происхождения. Рычков, рассуждая о происхождении соленых источников пермского края, заявлял:

«Многие думают, что сие должно приписать соляному материалу, составляющему недро тоя земли, где будто бы сей росол накопляется от изхождения внутренних вод, пробирающихся в глубь сквозь подземныя скважины, и приемлющих сей вкус от солености натуральною солью исполненных жил: но я охотнее соглашусь верить, что сей тузлук начало свое приемлет от морских вод, разпространяющихся внутрь недр земных некиими протоками, и что родитель сих солей есть северный Окиан, прилегший ближе всех морей ко области Соликамской» [24, стр. 86].

Отмечая разницу в крепости рассола соседних источников (источник в г. Соликамске беднее солью, нежели источники окрестностей, в частности в с. Усолье), он говорил:

«Кажется нет иной причины слабости сего росола, как той, что в недрах сея земли находится множество пресных вод, которыя сообщаясь с солеными водами, лишают солености природной их» [24, стр. 97].

Однако часто, по мнению других исследователей, общая соленость поверхностных вод является остаточной от бывшего здесь раньше моря. Это положение особенно ярко подчеркивал Паллас по отношению к Прикаспийской низменности. То же он отмечал и по отношению к Крымскому полуострову. Наличие солоноватой земли в окрестностях Сиваша, Перекопа и соленых озер по всей Тавриде, по мнению Палласа, свидетельствует о том, что вся эта поверхность в прежние времена была покрыта морем, как и «часть степи, лежащей между Днепром и Бердою» [20, стр. 35].

Отметив, что солоноватость этих равнин не так повсеместна, как в Прикаспийской низменности, он говорил, что:

...«сие происходит от того, что первыя склоняяся везде к морю, имеют покатую поверхность; и сие с продолжением времени при помощи дождевых и происходящих от разстаяния снегов вод лишало их части солености» [20, стр. 35].

Паллас утверждал, что может быть некоторые соленые озера и питаются солью за счет привноса ее солеными ключами, но вероятнее, что вся соль в озерах юга России — остаточная от моря. Как исключение он допускал, однако, питание озер и за счет соленых источников; так, описывая в Киргизской степи Гурьевские соленые озера и отмечая общую «соленость земли» в окрестностях г. Гурьева, Паллас указывал, что некоторые из озер, связанные протоками с морем, имеют, однако, соленость выше морской, и говорил, что, вероятно, «причиною тому подземные соленые ключи» [19, ч. 1, стр. 620; ч. 2, кн. 1, стр. 454—458].

Паллас, Лепехин, Гмелин, Фальк отмечали связь между характером растительности на поверхности земли и глубиной и степенью солености подземной воды; они неоднократно указывали на растительность как критерий нахождения воды.

Так, Фальк указывал:

«Ближе к Тереку между степными кустарниками находятся каперсовые кусты и тамариск. Во многих местах растет тростник, показывающий грунт, исполненный ключей, ибо где только там ни копали, всегда в глубине от 1 до 3 футов находили пресную воду» [31, ч. I, стр. 92].

Фальк пользовался этим критерием для решения практических вопросов при выборе пунктов постройки станционных деревень в Куманской степи; так, он в частности указал пункты при Яшбашском озере и при озере Алагане, где по наличию тростника он предполагал неглубокую пресную воду, при отсутствии ее на широком пространстве степи.

Эта связь природных явлений усматривается Палласом и в более широком аспекте. Описывая Куманскую, Калмыцкую, Яицкую степи, он отмечал, что низкая ровная поверхность их, характер глин и песков, слагающих их, характер раковин, встречающихся во множестве на поверх-

ности, «соленость сея земли», большое количество солончаков и соленых озер — все это

«суть неоспоримыя доказательства, что они некогда Каспийскими водами покрыты были» [19, ч. 3, кн. 2, стр. 172].

Паллас очертил древние берега Каспийского моря на востоке, севере и западе; в частности:

«возвышенная страна между Доном и Волгою по течению Сарпы и возвышения, так называемыя общей Сырт, между Волгою и Яиком лежащия, были древние берега пространного Каспийского моря. Ибо на сей возвышенной земле появляются уже разновидные слои, повсемественная соленость прерывается, почву составляет толстый слой дерна и тучнаго чернозема и Каспийских черепокожных более не видно» [19, ч. 3, кн. 2, стр. 172—173].

Он высказал мнение, что Каспийское море по долинам современных рек Сарпы, Кумы, Маныча соединялось с Черным морем, а на востоке оно соединялось с Аральским морем:

«с вероятностью заключить можно, что вся Крымская, Куманская, Волжская и Яицкая степь и ровнины великой Татарии, даже за Аральское море простирающияся, были покрыты морем, которое узким и топким каналом, коего следы показывает Маныч, обтекши северной кряж Кавказа, на нынешнем Каспийском и Черном море два великие, глубокие залива оставило»... [19, ч. 3, кн. 2, стр. 175].

Сначала, по его мнению, произошло разъединение Черного и Каспийского морей, а позже Каспийского и Аральского.

О более широком распространении Каспийского моря в пределах современной Калмыцкой и Куманской степей говорил и Фальк [31, ч. 1, стр. 215]. На это же указывал и Гмелин.

Паллас отметил факты, что на горе Богдо в скалах на некоторой высоте имеется большое количество расселин и пещер, предположительно образовавшихся от действия волн при более высоком уровне вод Каспийского моря, и что разница между уровнями Волги и Дона в месте их наиболее близкого нахождения 10 саж. Из целого ряда аналогичных фактов он пришел к выводу, что уровень Каспийского моря с момента разъединения с Черным морем понизился на 15 саж.

Паллас, Лепехин, Гмелин, отмечая факт периодического колебания уровня Каспийского моря, пытались разрешать ряд сложных вопросов в связи с этим. Паллас утверждал, что уровень Каспийского моря является результативной величиной от двух других величин: речного стока и испарения с поверхности моря; какие-либо «подземельные проточки» не могут понижать уровня, так как он и без того ниже, нежели в Черном море и в океане [19, ч. 3. кн. 2, стр. 111—112]. Лепехин, задаваясь вопросом, почему Каспийское море, пополняемое многими большими реками, не повышает своего уровня в настоящее время, писал:

«Нет никакой невозможности, чтобы Каспийское море не могло отбавлять своей воды через подземные проходы в такой же пропорции, в какой оно принимает оныя»... [11, ч. 1, стр. 519].

Гмелин придерживался взгляда, что Каспийское море теряет испарением и подземным стоком через «каналы» столько, сколько получает воды реками; при этом он писал:

«По тому, что Каспийское море никакого истока не имеет, то и излишнюю свою воду чрез подземельные каналы отводит оно внутрь земли, и солончаки выходят в

таких местах, кои с вышиною моря лежат горизонтально. Обе большия степи по Каспийскому морю на запад и восток простирающияся состоят наипаче из соленого материка» [6, ч. 3, пол. 2, стр. 390—391].

Гмелин не придавал большого значения периодическому колебанию уровня Каспийского моря, считая это явление случайным, зависящим от целого ряда обстоятельств.

Обилие разнообразных, часто противоречивых фактов с которыми пришлось столкнуться исследователям, приводило их к необходимости разрешать сложные теоретические вопросы. Так, Лепехин, описывая, как участникам его экспедиции пришлось искать пресную подземную воду в Камыш-Самарской степи, дает объяснение генезиса пресной воды среди соленых вод:

«Выкопав ямину, глубиною на сажень, показалася вода, но не к малому нашему сожалению была столь же солона, как и в Култуках. Бывшие с нами козаки сказав только, «не на ту попали копань», принялися разработывать другую, подле прежней почти в плоть лежащую. По жребию нашему скоро дорылися они до воды, которая была нарочито пресна и чрезмерно студена. Такое различие воды в весьма близком разстоянии долго было нам не понятно. Но как поприлежнее вникли в Камыш-Самарския воды, то нам сие явление показалося весьма простым. Я осмеливаюся всякую пресную воду, которая на степи попадается, выключая береговые заливы Каспийского моря, производить от Камыш-Самары: ибо в оной всегда прибывающая вода из Узеней должна убавляться чрез подземные рвы, которые по всей степи открывают себе проход. Но как вся степь изпещрена была солеными озерами, то те родники, которые пробираются по солонцам, или иногда захватывают и самаго материка, приносят с собою соленую воду, от которой и прежде упомянутыя озера начало свое имеют. Напротив того пробирающиеся по песчаным и иловатым местам удерживают прежнюю свою чистоту; и естьли где соль к ним примесится, процеживаяся сквозь упомянутые пески соленое оставляют вещество; что доказывают копани, при морских берегах находящияся, где морская вода процеживаяся пресна становится» [11, ч. 1, стр. 495—496].

Паллас смело ставил и решал сложный вопрос формирования подземных вод. Указывая на близость хорошей пресной воды по холмам песчаной степи Нарын (Рын-Пески) в Прикаспийской низменности среди сплошного поля соленых вод, он задавался вопросом:

«Но откуда происходят сии обильныя водныя жилы, проходящия по сей песчаной полосе, посреди сухой и почти совсем безводной равнины лежащей? [19, ч. 3, кн. 2, стр. 118].

И отвечал:

«По моему мнению нигде нельзя более искать хранилища воды столь щедро сию страну водою снабжающаго, кроме к северу лежащих высочайших стран и общаго Сырта, которой не взирая на малую свою высоту, по глинистым своим слоям множество ключей проводит, много таких ручьев выпускает, кои летом малое или никакого течения не имеют, и в прерывающихся заливах застаиваются, также много и таких, кои по кратком течении опять в землю уходят. Я не упоминаю при сем о великом изобилии снежной воды, которая на пологостях северной степи собирается и в землю уходит [19, ч. 3, кн. 2, стр. 119].

Большие и малые — многочисленные — озера Исетской степи, по его мнению, питаются «подземельными» водами Уральских гор, выходящими в виде источников и ручьев [19, ч. 2, кн. 1, стр. 92]. Далее, в другом месте, он объяснял общую соленость (обилие солонцов, соленых ключей, соленых озер) Исетской, Киргизской и Барабинской степей приносом водою соли с тех же Уральских, а также Алтайских гор, которые питают эти пространные степи; он объяснял эту соленость

... «множеством соленых ключей, из коих сии в бесчисленных местах прорвалися. Ибо все равнины, лежащия от онаго хребта к северу, до самых Российских пределов, и вся Киргизская степь, находящаяся между Уралом и Иртышем, наполнены солеными озерами и солонцами, подобно как далее к востоку от Иртыша до Оби простирающаяся Барабинская степь, которая без сомнения соленое качество получает от Алтайскаго и Обскаго хребтов» [19, ч. 2, кн. 2, стр. 52].

В свою очередь водоемы степей, опять-таки через подземные воды, по мнению Палласа, питают многие крупные реки. Отмечая в районе Урлють-Юбского яра многочисленные выходы ключей по берегам Иртыша, значительно увеличивающие здесь его расход, он задавался вопросом:

«что может быть естественнее к заключению, как сие, что оные ключи суть скрытые истоки вышеупомянутых превеликих в Барабинской степи находящихся озер, кои никакого видимаго стока у себя не имеют и находятся в сей стране весьма близко подле Иртыша?» [19, ч. 2, кн. 2, стр. 131].

Эти вопросы приводили Палласа к проблеме происхождения подземных вод. Пытаясь объяснить многоводность степей на юге Западной Сибири выходом подземных вод с Уральских и Алтайских гор, он заключал, что эти горы в свою очередь являются собирателями атмосферной влаги. Пересекая Южный Урал в районе Троицко-Саткинского завода, он, отметив обилие в горах воды, давал такое объяснение:

«Всеконечно главная сему причина ход облачных туманов и вздымающихся паров, которые к сим лесистым на высоком месте лежащим, и сверх того еще другими великими холмами возвышенным горам течение свое имеют; следственно и то не удивительно, что сии горы не только много источников и ручьев раждают, но и многия свои подземельных вод сокровища на лежащую к востоку ровнину, изливают, чему как при подошве сея горы, так и далее, а особливо по всей Исетской провинции разсеянныя великия и малыя озера с их достопамятными переменами, о коем я упомяну в другом месте, явным служат свидетельством» [19, ч. 2, кн. 1, стр. 92].

Лепехин задавался вопросом происхождения дождевых облаков. Он же высказывал мысли о питании истоков рек атмосферной влагой на возвышенных местах и «подземельной водой» по течению реки [11, ч. 2, стр. 146—147].

Исследователи впервые поставили и по-различному решили много и других теоретических задач. Фальк, например, так объяснял происхождение соленой росы в Куманской и Калмыцкой степях:

... «ветр поднимает соляную пыль, которая в нижней атмосфере от влажных паров растворяется и падает вместе с росою» [31, ч. II, стр. 75].

Этого же вопроса касается и Лепехин по отношению к Яицкой степи. Отметив, что данные физики и химии говорят за чистоту водных

паров, он указывает на необходимость более тщательного изучения природных процессов в самой природной обстановке:

«Я в заключение только скажу, что в Яицкой степи природа ни физическому остроумию, ни химическим опытам не последует» [11, ч. 1, стр. 498].

Гмелин поставил вопрос о единстве генезиса солей и нефти в Прикаспийском крае, а также химического состава воды Каспийского моря. Лаксман, исследуя происхождение озера Байкал, трактует его как постепенный процесс, в противоположность Палласу и Георги, которые признавали его внезапным, вулканическим. Рычков заинтересовался некоторыми вопросами подземного потока и взаимодействия двух близлежащих водопунктов; так, говоря о рассолодобывающих трубах в Соликамске, он отмечал:

«Случилось там примечания достойное действие между машинами, вытягивающими росол из подземельных источников, которое состоит в нижеследующем. Одна машина была построена на нагорной стороне реки Камы в селе Новом Усолье, а другая на луговой стороне тояж реки у села называемаго Усть-Зирянка. Естьли начнет действовать машина, находящаяся в Усолье, то другая должна оставаться без действия, не находя более росолу в своих недрах. Сему причиною есть сие, что обе они нечаянно построены на одной подземной жилке соленых вод; а по тому, как скоро одна будет в действии, то поглотив в себя весь росол притягивает и изпущает в свое отверстие, так что другой ничего более не остается. Из сего можно заключить, что соляные источники имеют течение свое небольшими протоками на подобие простых ключей, выходящих из внутренности гор» [24, стр. 84—85].

Собирая большой фактический материал о природных водах России, не ограничиваясь описанием их, давая объяснения ряду природных явлений, исследователи не останавливались и на этом. Они во многих случаях давали прогнозы, делали попытки широких обобщений, решали на основе их практические вопросы, выдвигали в порядок дня хозяйственные задачи государственного значения. Гмелин, описывая соленые ключи Старой Руссы, утверждал, что «сии соляные ключи имеют некоторое сообщение с Валдайскими горами» [6, ч. 1, стр. 2]; а описывая подробно «Валдайские горы», он делал прогноз о широком распространении соленых ключей Старорусских [6, ч. 1, стр. 10]; химический состав воды в Ловати является, по его мнению, одним из подтверждений этого. Описывая минеральный ключ у Липецких заводов в районе Воронежа, производя химический анализ этой воды и утверждая, что минеральная вода при соприкосновении с воздухом меняет свой состав, Гмелин делает практическое предложение устроить рациональный каптаж:

«По мнению моему должно бы вести штольны, и на несколько сажен в глубину исследовать землю; ибо почти со всем в том нет сомнения, чтобы не можно было дойти до хорошаго ключа, в котором составляющия его части еще не смешались» [6, ч. 1, стр. 170].

Озерецковский, описывая в берегах озера Селигер (в погосте Рагозе) ключи, замечал, что этой водою:

«лечатся от разных наружных нечистот; сие тем вероятнее, что ключи, проходя чрез железную охру, без сомнения заимствуют от нее минеральныя частицы, которыя и на вкус ощутительны. Надлежало бы исследовать все воды той страны, и сделать им особливое описание» [18, стр. 183].

А в предисловии к своей книге [15] он говорит:

... «видел и рассматривал соленыя воды, из которых вываривается столовая соль с истреблением лесов, и по вкусу воды заключил, что когда в самых тех местах изследовать станем земныя недра, то может быть откроем слои каменной соли, и будем ломать ее железом, а не огнем из воды вываривать» [15].

Паллас говорил о большом распространении в Сибири озер с «горькою глауберовою солью» и, указывая при этом на Исетскую, Ишимскую, Барабинскую степи, на окрестности озера Байкал, бассейны рек Селенги, Хилки, Чикоя, Онона, Аргуни, делал между прочим прогноз, что

... «также вся Мунганская степь, а наипаче высокая Гобейская, не могут не иметь многих озер подобных качеств» [19, ч. 3, кн. 1, стр. 354].

В связи с общим интересом к соленым водам и солеварению в России, Лаксман еще в 1760-х гг. выступил с широкой программой в общественных кругах России об использовании соленых озер Сибири для добычи «горькой соли». Паллас выдвигает идею о массовом получении в Прикаспийских степях соды.

Наряду с большим количеством поднятых и разрешенных вопросов о соленых водах в связи с проблемой соледобывания, экспедиции собрали значительный материал и о ресурсах минеральных «лечебных» вод России. Было вскрыто разнообразие этих вод, их различное физиологическое значение в жизни населения, перспектива использования этих вод. Паллас отмечал, что в бассейне р. Сок (Среднее Поволжье) население употребляет выходящие ключи серных вод для лечения кожных и внутренних болезней; среди различных минеральных вод Поволжья у Сталинграда им отмечены «марциальные» (железистые) воды, употребляемые местным населением для «прогнания мочи». Он писал, что от этой воды:

«у всех нас зубы так шатались, что мы принуждены были довольствоваться мутною Волжскою водою» [19, ч. 3, кн. 2, стр. 297].

Здесь же он отмечал, что:

«Вода в средней Елшанке, протекающей по тучным купоросною кислотою напоенным слоям имеет рвотное свойство» [19, ч. 3, кн. 2, стр. 297].

Паллас отмечал лечебную воду горячего источника речки Холон-Уссу в бассейне р. Кыры, а также в бассейне р. Чикоя (в Даурии), которой лечатся местные тунгусы. Он отмечал, что по Иртышу, близ устья р. Убы (д. Красноярская) местное население подвержено заболеваниям «лихорадкой» и желудочно-кишечным болезням от воды, содержащей медистые соединения. Подробно описывая и производя химический анализ ключевых лечебных вод на р. Погромной или Хараху (Забайкалье), Паллас указывал, что местные буряты излечивали ими различные болезни. Давая высокую оценку этим водам, он отметил, что:

«можно бы зделать из сих ключей преизрядныя лечебныя воды» [19, ч. 3, кн. 1, стр. 344].

Лепехин отметил несомненное лечебное значение соковских серных вод; указал, что по р. Шунгут население не пользуется речной водой и оберегает скот от нее, на опыте убедившись, что она вредна для питья, вследствие выхода большого количества серных ключей по реке. Озерец-

ковский указал, что «целебные» ключи в с. Торошковце по р. Луге исцеляют от ран, порезов и наружной сыпи [18]. Рычков, описывая тяжелое положение участников путешествия по Киргиз-Кайсацкой степи, писал, что к голоду прибавилась «опухольная болезнь» по всему телу, причиною чего было сколько недоедание,

«столько горькия и соленыя воды, коими принуждены мы были питаться несколько дней» [25, стр. 67].

Гильденштедт указывал, что в Имеретии, в п. Кулачи при Логобе:

«Жители пьют здесь, так как и в Хобе, противную на вкус воду из узких колодцев и часто получают от того зобы, которые однакоже в Кавказской линии также редки, как и самые колодцы» [4, стр. 338].

В связи с общим интересом в то время к минеральным водам страны, Гильденштедт в отдельной статье [5] осветил в 1778 г. географическое, химическое и врачебное описание «целительных ключей» («теплиц») Терека. Такую же работу в том же году проделал Георги [1] по отношению к сарептским (царицынским) «целительным» источникам. Он описал физические и химические особенности воды и ее бальнеологические свойства; привел данные качественного анализа и на основании его высказал мнение о химическом составе воды. Он считал эти источники по химическому составу близкими к пирмонтским, с некоторым, однако, отличием. Георги высказал мнение о необходимости организации благоустроенного курорта, о возможности комбинированного лечения кислыми водами Сарепты и теплыми серными водами ключей Терека, для чего, по его мнению, необходимо усовершенствовать и обезопасить путь от Сарепты через Моздок к «теплицам» Терека. В другой статье в том же году Георги [2] дал практическое наставление к употреблению сарептских вод.

Лепехин, Паллас, Гмелин и другие исследователи не ограничивались только географическими и физическими описаниями поверхностных и подземных вод; они, как правило, производили химические анализы их. Для примера приведем химический анализ ключевой воды г. Саратова, сделанный Лепехиным. Лепехин, описав геологический разрез «буерака» в северной части города, который сокращенно представляет такую колонку:

1) тучный чернозем до 2 футов,
2) желтоватый ил около 5 аршин,
3) известной камень,
4) желтоватый ил до 40 аршин,
5) слойчатая черная жирная глина,

пишет далее:

«Из сей глины в двух местах пробивают холодные и на взгляд прозрачные ключи; однако вода в них сильно стягивающий имеет вкус, подобный, когда в воде разпущены будут квасцы. С сею водою следующие мы сделали опыты. Раствор серебра тотчас замутил сию воду, и произвел сывороточной цвет; после чего вскоре она и отстоялася. На дне сосуда отлежался белый ссад с черноватою на верьху перепонкою.

От нашатырной водки сделалося так же белое сгущение, и плавало по верьху вещество видом на творог похожее. Разтвор меди придал воде голубоватой цвет, и вода не замутилася, но была прозрачна.

Сулема никакой в воде не произвела перемены, так как и распущенные в воде квасцы.

Распущенный винный камень произвел в воде мутный молошной цвет, и видны были плавающия небольшия белыя пухавочки.

Положенное серебро в воду почернело и лоск свой потеряло.

Железо в воде такой же получило цвет, с тем только различием, что верьхняя поверьхность онаго казалася желтоватою.

Фиолковый сироп сделался мало красноватым.

Яишной белок совсем непременен на дне сосуда пролежал без всякой на него насадки.

Сии опыты довольно явствуют, что в воде находятся квасцы, которые она получает от выше упомянутой жирной черной глины; ибо и глина такой же имела вкус» [11, ч. 1, стр. 374—375].

По такому же образцу производили химические анализы воды и другие исследователи.

Обилие фактического материала о природных водах России заставило Фалька систематизировать этот материал. Он делает попытку классификации природных вод, которая изложена во второй части его «Записок путешествия» [31] в особой главе под названием «Дополнения гидрологические».

Он разделил все воды на: «1) атмосферные, 2) обыкновенные (ключевые, речные, озерные), 3) воды окаменяющие, накипные и осадочные, 4) соляные, 5) горносмоляные, 6) серные и сернопеченковые, 7) купоросные и 8) теплицы или воды теплые».

При описании атмосферных вод он объяснил так называемые соленые росы в южной Куманской и Калмыцкой степях,— вопрос, поставленный, но не разрешенный Лепехиным.

Речные воды он разделил на чистые воды горных рек, мутные, но пресные воды больших рек равнин и на солоноватые воды юго-восточных степей.

Озерные воды: светлая хорошая вода высоких озер, вода болотно-озерная и вода иловатых озер, часто мутная; вода последнего типа на юго-востоке часто физиологически вредная, «смертоносная».

Воды окаменяющие, накипные и осадочные:

«Обильные осадочные пласты, настоящие окаменелости, капельники, накипной кох и проч. на *Волге, Тереке,* верхних речках *Суры* свидетельствуют о окаменяющих и осадочных водах. Но кажется, что в прежние времена было оных более, нежели ныне; однакож есть таковые и теперь местами, как то:

a. Окаменяющий ключ на правой стороне *Волги* при *Дубовке.* Оный в 30 лет сильно напитал дерево известными частями.

b. Ключи известною железною охрою накипающие при *Сузунском* заводе на *Оби.*

c. Воды образующие известные и гипсовые капельники, находятся во многих известных, а особливо алебастровых гротах при берегах *Волги, Суры, Сылвы, Сима* и проч.

d. Известнопещаный туф осаждают Терекские теплицы» [31, ч. 2, стр. 79—80].

Соляные воды Фальк разделяет на: содные (щелочные), горькосоленые, квасцовые и поваренно-соляные. Первые два типа широко распространены в лужах, прудах и озерах Куманской, Калмыцкой, Киргизской, Барабинской степей, а также в Алейской степи на Алтае.

Воды квасцовые очень редкие (ключи: на речке Ачу Ташла Турган при караванной дороге от Троицка в Хиву, в верховьях Тобола,

по рекам Кара-су, Уй, Черной, Джиранской, на берегу Томи выше Томска).

Ключи поваренной соли: при Усолке Белой (близ Табынска), по р. Сылве (при Красноярске и ур. Барды), по обеим сторонам р. Нижней Чусовой (при Чусовском Городке), по р. Усе (близ Самарской Луки), при с. Усолье. Везде здесь — следы солеварен.

Поваренно-соляных озер много в Куманской степи (Орловское озеро и др.), в Калмыцкой степи (Богдо, Елтон, Самарское), в Киргизской степи (Индерское, Эбелей и др.), озеро у Иртыша, между Томом и Обью; в Зюнгории, Бухаре, Хиве.

Горносмоляные воды: ключи с нефтью в 15 верстах от Сергиевска, в 40 верстах от него, при речке Игар. Нефтяные и горнодегтярные ключи: при Тереке, у гор около теплых ключей, при Барагуне, Девлет-Гирее, особенно обильные Чеченские.

«Ключи горного дегтя находятся на гористых берегах *Волги* при Тетюшах, также на гористых берегах Самарской Луки. Чернонефтяные или горнодегтярные (кирг. Дирхей) при горе Ирнек, на Киргизской и Хивинской границе, при Оренбургской караванной дороге».

Озеро Каракул в Киргизской степи — с горным дегтем.

Воды серные и сернопеченковые. Серные ключи в Сарепте; близ Саратова. Сернопеченковая вонючая вода и ил во многих юго-восточных степных озерах.

Купоросные воды. Железно-купоросные или грубые марциальные ключи многочисленны по рекам, например на гористом берегу Волги при Сызрани. Железистокислые ключи редки; встречаются на гористых берегах Волги между Сталинградом и Сарептою, при Петровской теплице на Тереке и в других местах.

Теплицы или теплые воды. Фальк описывает Петровскую теплицу на Тереке; приводит данные анализов воды; описывает и другие Терекские теплицы: Девлет-Гирейскую, Аксайскую и др. и их лечебное значение. Сюда же относит ряд горячих ключей в Зюнгории, о которых он узнал по рассказам [31].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, экспедиции конца XVIII в. явились в России целым этапом в развитии науки. В качестве основных результатов этих экспедиций следует отметить следующее.

1. Если в начале XVIII в. по инициативе Петра I впервые в России применен научно-экспедиционный метод к изучению страны и если в середине XVIII в. Ломоносов теоретически обосновал и всячески пропагандировал его, то в конце XVIII в. этот метод получил широкое практическое осуществление и развитие в России.

2. Собран огромный фактический материал о природе и природных особенностях России, в частности в области недр; созданная в середине XVIII в. Ломоносовым теоретическая геология получила в России в конце XVIII в. новое более широкое фактическое основание, давшее ей возможность быстро развиваться в XIX в. Собран огромный фактический материал по гидрологии и климатологии страны, ускоривший процесс становления этих наук в России в XIX в. Собран обильный материал о подземных водах страны.

3. В широком аспекте выявлен и в значительной степени решен факт развития природы, ее непостоянство во времени и пространстве; ны натуралистов в России основные положения научно-материалистической философии Ломоносова.

4. В процессах изменения природы выявлена огромная роль подчастности подземной воды. Вода признана важнейшим фактором многих геологических процессов, например формирования рудных месрождений, образования пещер (карста) и т. п.

5. Поставлены в порядок научного обсуждения крупные теоретические вопросы: круговорот воды в природе, происхождение подземных вод, формирование подземных вод, генезис соленых минеральных вод и т. п.

6. Выявлена связь таких явлений природы, как рельеф, характер горных пород, почва, растительность — с одной стороны, и глубина залегания, химический состав неглубоких «подземельных» вод — с другой.

7. Найдены критерии нахождения пресной и соленой неглубокой подземной воды по характеру растительности на поверхности и критерии нахождения некоторых рудных месторождений по химическому составу выходящих на поверхность «подземельных» вод.

8. Намечена на обширной территории Европейской России зональность неглубоких подземных, а также и поверхностных вод: увеличение жесткости с севера на юг (Зуев), увеличение минеральных вод по направлению к горным областям, широкое распространение соленых вод на юго-востоке Европейской России и в Сибири.

9. Положено начало научного изучения «подземельных» вод России в региональном разрезе. В таком разрезе наиболее был изучен юго-восток Европейской России, особенно подземные воды юго-восточных степей.

10. Вскрыты в России огромные ресурсы минеральных и соленых вод; признано большое физиологическое значение различных вод в жизни населения; намечены перспективы развития курортов и солеварения.

11. Вскрыты неудовлетворительные условия водоснабжения многих городов и намечены возможные улучшения для некоторых из них.

12. Всеми этими результатами в небывалом масштабе расширен кругозор русской и мировой науки в области подземных вод; вскрыты разнообразные водные ресурсы обширного Русского государства; выявлены нужды и очередные мероприятия в водном хозяйстве страны; заложено фактическое основание для возникновения и развития самостоятельной отрасли знания о подземных водах.

13. В ходе этих экспедиций и на материалах их выросла целая плеяда первоклассных русских ученых, в различной степени занимавшихся научными вопросами о подземных водах (Лепехин, Озерецковский, Зуев, Рычков, Соколов, Иноходцев, Севергин и др.). Значительная часть приглашенных иностранных ученых, принимавших участие в экспедициях (Паллас, Гмелин, Гильденштедт, Фальк, Георги, Лаксман), долгие годы работы в России ассимилировались (особенно Паллас) русской научной среде и находились под влиянием передовых научных теоретических и философских идей Ломоносова. Экспедиции значительно расширили кадры русских ученых-натуралистов.

14. Центром научной мысли в России в области изучения подземных вод на всем протяжении XVIII в. и на рубеже XVIII и XIX вв. была Академия Наук.

по рекам Кара-су, Уй, Черной, Джиранской, на берегу Томи выше Томска).

Ключи поваренной соли: при Усолке Белой (близ Табынска), по р. Сылве (при Красноярске и ур. Барды), по обеим сторонам р. Нижней Чусовой (при Чусовском Городке), по р. Усе (близ Самарской Луки), при с. Усолье. Везде здесь — следы солеварен.

Поваренно-соляных озер много в Куманской степи (Орловское озеро и др.), в Калмыцкой степи (Богдо, Елтон, Самарское), в Киргизской степи (Индерское, Эбелей и др.), озеро у Иртыша, между Томом и Обью; в Зюнгории, Бухаре, Хиве.

Горносмоляные воды: ключи с нефтью в 15 верстах от Сергиевска, в 40 верстах от него, при речке Игар. Нефтяные и горнодегтярные ключи: при Тереке, у гор около теплых ключей, при Барагуне, Девлет-Гирее, особенно обильные Чеченские.

«Ключи горного дегтя находятся на гористых берегах *Волги* при Тетюшах, также на гористых берегах Самарской Луки. Чернонефтяные или горнодегтярные (кирг. Лирхей) при горе Ирнек, на Киргизской и Хивинской границе, при Оренбургской караванной дороге».

Озеро Каракул в Киргизской степи — с горным дегтем.

Воды серные и сернопеченковые. Серные ключи в Сарепте; близ Саратова. Сернопеченковая вонючая вода и ил во многих юго-восточных степных озерах.

Купоросные воды. Железно-купоросные или грубые марциальные ключи многочисленны по рекам, например на гористом берегу Волги при Сызрани. Железистокислые ключи редки; встречаются на гористых берегах Волги между Сталинградом и Сарептою, при Петровской теплице на Тереке и в других местах.

Теплицы или теплые воды. Фальк описывает Петровскую теплицу на Тереке; приводит данные анализов воды; описывает и другие Терекские теплицы: Девлет-Гирейскую, Аксайскую и др. и их лечебное значение. Сюда же относит ряд горячих ключей в Зюнгории, о которых он узнал по рассказам [31].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, экспедиции конца XVIII в. явились в России целым этапом в развитии науки. В качестве основных результатов этих экспедиций следует отметить следующее.

1. Если в начале XVIII в. по инициативе Петра I впервые в России применен научно-экспедиционный метод к изучению страны и если в середине XVIII в. Ломоносов теоретически обосновал и всячески пропагандировал его, то в конце XVIII в. этот метод получил широкое практическое осуществление и развитие в России.

2. Собран огромный фактический материал о природе и природных особенностях России, в частности в области недр; созданная в середине XVIII в. Ломоносовым теоретическая геология получила в России в конце XVIII в. новое более широкое фактическое основание, давшее ей возможность быстро развиваться в XIX в. Собран огромный фактический материал по гидрологии и климатологии страны, ускоривший процесс становления этих наук в России в XIX в. Собран обильный материал о подземных водах страны.

3. В широком аспекте выявлен и в значительной степени осознан факт развития природы, ее непостоянство не только в пространстве, но и во времени. Получили таким образом широкое признание со стороны натуралистов в России основные положения научно-материалистической философии Ломоносова.

4. В процессах изменения природы выявлена огромная роль воды, в частности подземной воды. Вода признана крупнейшим фактором многих геологических процессов, например, формирования рудных месторождений, образования пещер (карста) и т. п.

5. Поставлены в порядок научного обсуждения крупные теоретические вопросы: круговорот воды в природе, происхождение подземных вод, формирование подземных вод, генезис соленых минеральных вод и т. д.

6. Выявлена связь таких явлений природы, как рельеф, характер горных пород, почва, растительность — с одной стороны, и глубина и химический состав неглубоких «подземельных» вод — с другой.

7. Найдены критерии нахождения пресной и соленой неглубокой подземной воды по характеру растительности на поверхности и критерии нахождения некоторых рудных месторождений по химическому составу выходящих на поверхность «подземельных» вод.

8. Намечена на обширной территории Европейской России зональность неглубоких подземных, а также и поверхностных вод: увеличение жесткости с севера на юг (Зуев), увеличение минеральных вод по направлению к горным областям, широкое распространение соленых вод на юго-востоке Европейской России и в Сибири.

9. Положено начало научного изучения «подземельных» вод России в региональном разрезе. В таком разрезе наиболее был изучен юго-восток Европейской России, особенно подземные воды юго-восточных степей.

10. Вскрыты в России огромные ресурсы минеральных и соленых вод; признано большое физиологическое значение различных вод в жизни населения; намечены перспективы развития курортов и солеварения.

11. Вскрыты неудовлетворительные условия водоснабжения многих городов и намечены возможные улучшения для некоторых из них.

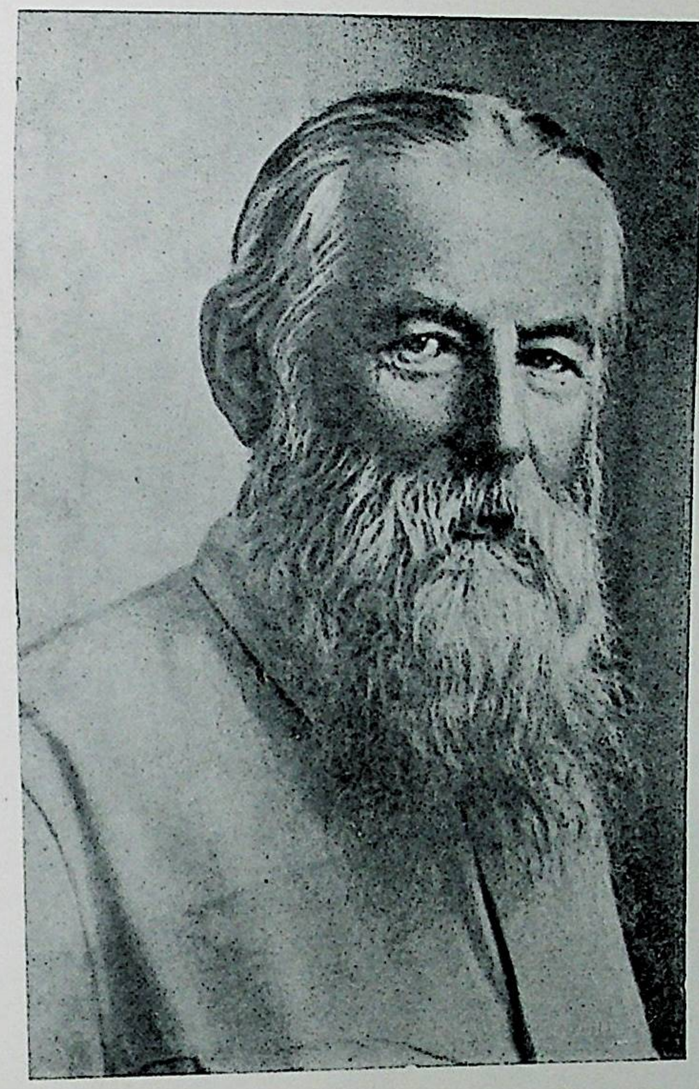
12. Всеми этими результатами в небывалом масштабе расширен кругозор русской и мировой науки в области подземных вод; вскрыты разнообразные водные ресурсы обширного Русского государства; выявлены нужды и очередные мероприятия в водном хозяйстве страны; заложено фактическое основание для возникновения и развития самостоятельной отрасли знания о подземных водах.

13. В ходе этих экспедиций и на материалах их выросла целая плеяда первоклассных русских ученых, в различной степени занимавшихся научными вопросами о подземных водах (Лепехин, Озерецковский, Зуев, Рычков, Сколов, Иноходцев, Севергин и др.). Значительная часть приглашенных иностранных ученых, принимавших участие в экспедициях (Паллас, Гмелин, Гильденштедт, Фальк, Георги, Лаксман), за долгие годы работы в России ассимилировались (особенно Паллас) в русской научной среде и находились под влиянием передовых научно-теоретических и философских идей Ломоносова. Экспедиции значительно расширили кадры русских ученых-натуралистов.

14. Центром научной мысли в России в области изучения подземных вод на всем протяжении XVIII в. и на рубеже XVIII и XIX вв. явилась Академия Наук.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Г. Георги. Сокращенное известие о найденных между Сарептою и Царицыным целительных источниках, описанных Г. Адьюнктом Георгием. Санктпетербургский вестник, 1778, март.
2. И. Г. Георги. Наставления об употреблении Сарептских вод. СПб., 1778.
3. И. Г. Георги. Химическое исследование Невской воды, протекающей через гор. С.-Петербург. Новые сжемесячные сочинения, ч. 108, 1781.
4. И. А. Гильденштедт. Географическое и статистическое описание Грузии и Кавказа. СПб., 1809, изд. Акад. Наук.
5. И. А. Гильденштедт. Географическое, химическое и врачебное описание теплиц (горячих целительных ключей) в Астраханской губ., при реке Тереке находящихся. Месяцеслов исторический и географический, 1778, изд. Акад. Наук (то же: Акад. изв., ч. V, июль, 1780).
6. С. Г. Гмелин. Путешествие по России для исследования трех царств естества, ч. 1, 1771; ч. 2, 1777; ч. 3, 1785 (половина 1 и 2). СПб., изд. Акад. Наук.
7. В. Зуев. Путешественные записки Василья Зуева от С.-Петербурга до Херсона в 1781 и 1782 г. СПб., 1787, изд. Акад. Наук.
8. В. Зуев. Выписка из путешественных записок Василья Зуева, касающихся до полуострова Крыма, 1782 г. Собр. соч., выбранных из Месяцеслова на разные годы, ч. V. СПб., 1790, изд. Акад. Наук (из месяцеслова на 1783 г.).
9. С. П. Крашенинников. Описание земли Камчатки, в 2-х томах. СПб., 1756.
10. В. Лагус. Эрик Лаксман, его жизнь, путешествия, исследования и переписка. СПб., 1890, изд. Акад. Наук.
11. И. И. Лепехин. Дневные записки путешествия..., ч 1. 1771; ч. 2, 1772; ч. 3, 1780; ч. 4, 1805. СПб., изд. Акад. Наук.
12. М. В. Ломоносов. Первые основания металлургии или рудных дел (1742 г.). Соч. М. В. Ломоносова, т. VII, 1935, изд. Акад. Наук.
13. М. В. Ломоносов. Слово о рождении металлов от трясения земли (1757 г.). Соч. М. В. Ломоносова, т. V, 1902, изд. Акад. Наук.
14. М. В. Ломоносов. О слоях земных (1750-е гг.). Соч., т. VII, 1935, изд. Акад. Наук.
15. Н. Озерецковский. Обозрение мест от Санктпетербурга до Старой Руссы и на обратном пути. СПб., 1808.
16. Н. Озерецковский. Путешествие по озерам Ладожскому, Онежскому и вокруг Ильменя. СПб., 1812 (первое издание 1792 г.).
17. Н. Озерецковский. О вершине реки Волги. Умозрительные исследования, т. IV, 1815, изд. Акад. Наук.
18. Н. Озерецковский. Путешествие на озеро Селигер. СПб., 1817.
19. П. Паллас. Путешествие по разным провинциям Российской империи в 1768—1773 гг., ч. 1, 1733; ч. 2, кн. 1—2, 1786; ч. 3, кн. 1—2, 1788. СПб., изд. Акад. Наук.
20. П. Паллас. Краткое физическое и топографическое описание Таврической области. СПб., 1795.
21. Т. И. Райнов. Русские академики второй половины XVIII в. и Бюффон. Вестник Акад. Наук СССР, 1939, № 10.
22. Т. И. Райнов. Русское естествознание второй половины XVIII в. и Ломоносов. Сб. «Ломоносов», изд. Акад. Наук, 1940.
23. Н. Рычков. Журнал или дневные записки путешествия по разным провинциям Российского государства, 1769 и 1770 г. СПб., 1770, изд. Акад. Наук.
24. Н. Рычков. Продолжение журнала или дневных записок путешествия по разным провинциям Российского государства, 1770 г. СПб., 1772, изд. Акад. Наук.
25. Н. Рычков. Дневные записки путешествия в Киргис-Кайсацкой степи, 1771 г. СПб., 1772, изд. Акад. Наук.
26. Л. Синицкий. Путешествие в Малороссию академика Гильденштедта и кн. И. М. Долгорукого. Киев, 1893.
27. М. И. Сухомлинов. История Российской Академии, вып. 2, 1875. Сб. Отделения русского языка и словесности Акад. Наук, т. 14, 1875.
28. В. П. Таранович. Экспедиции Академии Наук XVIII в. и их роль в деле развития лесных знаний. Архив истории науки и техники, вып. 1, 1933.
29. В. П. Таранович. Путешествие акад. И. И. Лепехина по северу Европейской России в 1771 г. Архив истории науки и техники, вып. 4, 1934.
30. В. П. Таранович. Экспедиция акад. И. И. Лепехина в Белоруссию в 1773 г. Архив истории науки и техники, вып. 5, 1935.
31. И. П. Фальк. Записки путешествия, в 2-х частях. Полное собрание ученых путешествий по России, т. VI, 1824; т. VII, 1825. СПб., изд. Акад. Наук.



Н. Ф. ПОГРЕБОВ

Н. Н. СЛАВЯНОВ

ПАМЯТИ НИКОЛАЯ ФЕДОРОВИЧА ПОГРЕБОВА

Известный русский геолог, основатель русской гидрогеологии, Николай Федорович Погребов, родившийся в Петербурге 5 ноября 1860 г., скончался 10 января 1942 г. на 82-м году жизни в Ленинграде, в самые тяжелые дни немецкой блокады. Вся жизнь этого замечательного ученого тесно связана с Ленинградом и с Геологическим комитетом.

В Ленинграде он родился, учился, там начал свою научную работу, и все свои главные работы он посвятил геологии и гидрогеологии Ленинградской области. Там он и умер, энергично работая по обороне Ленинграда, обслуживая Ленинградский и Северный фронты в геологическом отношении. На предложения эвакуироваться в тыл он неизменно отвечал, что он полезнее на Ленинградском фронте.

Научная работа Н. Ф. Погребова началась в Геологическом комитете и продолжалась там свыше 50 лет. Он начал с Волги, Днепра и Ленинградской области и постепенно расширял свои исследования на всю Россию. Николай Федорович был признанным знатоком подземных вод СССР, крупнейшим исследователем оползней. Он организовал первые гидрогеологические станции по изучению подземных вод вообще и оползневые станции в частности. Он был организатором и первым председателем Гидрогеологической секции Геологического комитета, председателем Гидрогеологической комиссии Географического общества, профессором Ленинградского Горного и Географического институтов, организатором и начальником гидрогеологических работ на силурийском плато Ленинградской области, участником работ по изучению Донецкого бассейна, одним из авторов «Русской геологической библиотеки», «Указателя литературы по гидрогеологии СССР», многих геологических карт различных районов СССР, инициатором гидрогеологических и гидрогеологических съездов и конгрессов, одним из крупнейших исследователей горючих сланцев и сапропелей. В Геологическом комитете он работал, начиная с 1891 г., являясь незаменимым помощником директоров Комитета А. П. Карпинского, Ф. Н. Чернышева и К. И. Богдановича, при которых развилось и окрепло это центральное геологическое учреждение России. Н. Ф. Погребов был свидетелем и участником его развития. Не было ни одной крупной геологической работы в Комитете, в которой в той или иной форме не участвовал бы Николай Федорович. Он принимал также живейшее участие в работе библиотеки Геологического комитета и его издательства. Он был ученым секретарем Комитета и его библиотекарем, редактором

о работ и иногда даже чертежником. Список его научных трудов считывает около 130 названий.[1]

Сотрудники Н. Ф. Погребова помнят его всегда готовым ехать в кспедиции и на экспертизы, всегда бодрым, живым, энергичным. Он ыл учителем, руководителем новых кадров советских гидрогеологов. иколай Федорович был патриотом, крупнейшим ученым Советского юза в области геологии, гидрогеологии и инженерной геологии. Вме-е с тем он был прекрасным, скромным и обаятельным человеком и личным товарищем.

[1] К 45-летию научной деятельности действительного члена ЦНИГРИ доктора ологических наук Н. Ф. Погребова. Изд. Главного геологического управления. осква, 1937.

Н. Н. СЛАВЯНОВ

ПАМЯТИ АЛЕКСАНДРА ПАВЛОВИЧА ГЕРАСИМОВА

Геологическая наука понесла тяжелую утрату: 10 ноября 1943 г. скончался в Свердловске один из крупнейших русских геологов Александр Павлович Герасимов.

Он родился в Иркутске 12 сентября 1869 г., окончил Петербургский горный институт в 1893 г. и всю жизнь работал в Геологическом комитете, сначала в качестве прикомандированного к Комитету инженера, научного сотрудника, потом геолога и старшего геолога, председателя Кавказской секции и заместителя директора по научной части. Геологическую работу он начал в Донецком бассейне под руководством Ф. Н. Чернышева, потом в Забайкалье в геологической партии В. А. Обручева, много работал на Северном Кавказе, начав с района Кавказских вод и Эльбруса, работал и во многих других местах СССР.

Александр Павлович был геологом, широко и глубоко изучавшим геологическое строение, тектонику, петрографию, стратиграфию. Главными объектами его исследований были золотоносные области Восточной Сибири, геология, тектоника и петрография Северного Кавказа. С особенным интересом и любовью А. П. Герасимов изучал минеральные источники и вулканизм. Он побывал в Италии для изучения Везувия.

Им написано много печатных работ, характерными чертами которых являются четкость, точность и художественность изложения. Работая больше 20 лет на Кавказе, он создал школу кавказских геологов и гидрологов, специализировавшихся на изучении минеральных вод. Деятельность его по созданию геологических кадров не ограничивалась полевыми геологическими работами.

В Геологическом комитете и дома Александра Павловича окружала дружная семья его учеников геологов, воспитывавшихся под влиянием этого замечательного геолога и прекрасного человека. Он был выдающимся профессором сначала Географического института, потом Ленинградского университета, читая лекции по вулканизму и различным проблемам геологии.

На научно-общественном поприще Александр Павлович работал сначала в Восточно-Сибирском отделении Географического общества, затем в Географическом обществе в Ленинграде, во многих научных обществах, особенно в Минералогическом, где он был сначала ученым секретарем после Ф. Н. Чернышева, потом председателем после А. П. Карпинского.

Александр Павлович был членом и председателем многих геологических съездов и играл крупную роль в XVII Международном геологическом конгрессе.

За свои работы он получал высокие оценки и награды как по общественной, так и по административной линии. Он был заслуженным деятелем науки и почетным членом обществ Минералогического, Географического, Железноводского медицинского.

А. П. Герасимов был талантливым ученым и обаятельным человеком, горячо любившим свою родину. Память о нем навсегда сохранится у всех, знавших его.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 5
В. А. Приклонский. Жизнь и деятельность академика Ф. П. Саваренского 9
Ф. П. Саваренский. Некоторые данные по химической денудации в верховьях рек Волги, Москвы и Оки 19
А. П. Виноградов. Рассеянные химические элементы в подземных водах разного происхождения (о значении коэффициентов пропорциональности) 25
А. М. Овчинников. Современное состояние вопроса о формировании подземных вод 36
Ф. А. Макаренко. Некоторые результаты изучения подземного стока . 51
Ф. А. Макаренко. О подземном питании рек 67
А. И. Силин-Бекчурин. О влиянии колебательных движений земной коры в районе Урало-Волжской впадины на условия формирования подземного стока и нефтяных залежей 72
Г. П. Афанасьев. Основные черты гидрогеологии Среднего Поволжья 88
В. А. Приклонский. Некоторые закономерности формирования грунтовых вод в засушливых областях 97
С. В. Зонн. Формирование химического состава грунтовых вод в орошаемых районах 112
А. Н. Бунеев и Л. П. Харитонова. О восстановлении сульфатов в воде Краинских источников в атмосфере водорода 121
Н. Н. Славянов. Железноводские минеральные источники и пути увеличения ресурсов минеральной воды 132
Н. Н. Славянов. Ейский минеральный источник, его каптаж и история. 154
Ф. А. Макаренко. Геотермические условия района Кавказских минеральных вод 171
Н. В. Тагеева. Минеральные воды Джермук (Исти-су) в Армении . . 212
М. М. Фомичев. Чокракские сероводородные источники 221
Д. И. Гордеев. Подземная вода по воззрениям М. В. Ломоносова . . . 233
Д. И. Гордеев. Академические экспедиции второй половины XVIII в. и их роль в развитии гидрогеологических знаний в России 245
Н. Н. Славянов. Памяти Николая Федоровича Погребова 271
Н. Н. Славянов. Памяти Александра Павловича Герасимова 273