

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Н. Н. Куликова

**ГЕОХИМИЯ ГАЗОВ  
ЗОЛОТОРУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ЗАБАЙКАЛЬЯ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР  
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА им. А. А. СКОЧИНСКОГО

550.44559.411

Н. Н. Куликова

ГЕОХИМИЯ ГАЗОВ  
ЗОЛОТОРУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ЗАБАЙКАЛЬЯ

1684



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1972



Геохимия газов золоторудных месторождений Забайкалья. Куликова Н.Н. Изд-во "Наука", 1972, 1-115.

В монографии показаны методика и результаты исследований в области геологии и геохимии природных газов; изучение этих факторов было предпринято с целью определения возможности обнаружения слепых рудных тел золоторудных месторождений путем поверхностной газовой съемки (по углекислому газу).

Обобщения сделаны на примере Балейских золоторудных месторождений. Автором дан анализ материалов по газоносности Забайкалья с учетом его геологического строения; построена схема газопроявлений на тектонической основе и намечены основные закономерности территориального распределения основных типов природных газов Забайкалья.

Издание рассчитано на исследователей и практиков геохимиков, геологов-разведчиков, горняков, преподавателей и студентов геохимических и горных вузов и факультетов.

Таблиц 24, иллюстраций 28, библиогр. 78 назв.

Ответственный редактор канд. техн. наук И.В. Сергеев

С развитием горнодобывающей промышленности за счет ввода в эксплуатацию новых месторождений, механизации процессов добычи, применения систем разработки с массовым извлечением руды, вскрытия и отработки более глубоких горизонтов все чаще приходится сталкиваться с увеличением количества поступающих в рудничную атмосферу газов. Это в значительной мере усложняет обеспечение безопасных условий труда горнорабочих и отрицательно сказывается на производительности рудников. Точность расчета ожидаемой газообильности горных выработок и рациональное применение мер борьбы с газовыделениями в них возможны только при наличии исчерпывающих данных по газоносности месторождения: распределения природного газа в рудовмещающей толще, геологических факторов, определяющих такое распределение, генезиса отдельных газовых компонентов и др.

Геохимия газов отдельных площадей, т.е. выяснение закономерностей в распределении компонентов газов между отдельными геологическими системами в связи с их возрастом, тектоникой, литологией и т.д. — часть общих геохимических закономерностей, составляющая содержание отдельных проблем геохимии. Таким образом, научное и практическое значение геологии и геохимии природных газов рудных месторождений очевидно. Настоящая работа представляет попытку научно обобщить результаты многолетних исследований в данной области на примере Балейских золоторудных месторождений.

Балейские золоторудные месторождения находятся в Восточном Забайкалье и являются одними из крупнейших в Советском Союзе. Они отличаются специфическими особенностями от большинства золоторудных районов нашей страны. К этим особенностям относятся: состав руд, близповерхностные условия формирования месторождений, геологическое строение, а также их высокая газоносность. В процессе ведения горных работ, особенно на глубоких горизонтах, рудничные газы стали большой помехой, и борьба с ними потребовала вестороннего изучения условий газоносности Балейских месторождений. Необходимость проведения такого рода исследований определилась крайне ограниченными данными по этому вопросу. Изучение газоносности Балейских золоторудных месторождений ранее сводилось к определению газов в рудничной атмосфере и единичным опробованиям выходов газа в районе минеральных источников попутно с гидрогеологическими исследованиями. Отсутствие специальных работ по изучению геологии и геохимии природных газов месторождений приве-

ло к ошибочному истолкованию происхождения рудничных газов, что в свою очередь привело к неправильному определению газообильности горных выработок.

В связи с вышеизложенным и были проведены систематические работы по изучению геологических и гидрогеологических условий газоносности Балейских золоторудных месторождений. В комплекс работ входило исследование газовыделений в горных выработках, скважинах и водных источниках. Методикой работ предусматривалось изучение свободных газовыделений, газов, заключенных в породах и растворенных в подземных водах, изучение некоторых физических (коллекторских) свойств пород, проведение точечного газового каротажа, поверхностной газовой съемки и др. Одновременно изучались материалы по геологии и газоносности как района Балейских рудных месторождений, так и всего Забайкалья в целом.

В результате выполненных исследований впервые были получены данные о количественной и качественной характеристиках газов месторождений, их происхождении, характере и путях миграции, установлена газовая зональность Балейской структуры и связь состава газа с химическим составом подземных вод. Помимо этого выявлены некоторые закономерности территориального распространения основных типов природных газов Забайкалья в зависимости от определенных геологических факторов.

По установленной приуроченности основных направлений миграции газов (преимущественно углекислого газа) к тектоническим нарушениям, контролирующим в большинстве случаев золотое оруденение Балейских месторождений, сделан вывод о возможности использования поверхностной газовой съемки по углекислому газу для прослеживания перекрытых наносами тектонических нарушений и, следовательно, слепых рудных тел.

Результаты исследований газоносности Балейских месторождений явятся дополнительным материалом о природных газах и будут способствовать развитию наших знаний об их геохимии и выявлению новых закономерностей, особенностей состава и распределения их в земной коре. Кроме того, выявленные закономерности распределения газов в пределах Балейского грабена могут быть использованы для обоснования прогноза газовыделений в горные выработки как Балейских месторождений, так и других аналогичных по геологическим особенностям металлических рудников, а также при разработке общих критериев для поисков оруденения балейского типа.

Обнаружение в рудоносных районах Советского Союза рудных полей балейского типа возможно в областях развития молодых тектонических движений и вулканизма при незначительном эрозионном срезе. К таким областям прежде всего относятся Восточное Забайкалье, во многих районах которого интенсивно проявлена блоковая тектоника местами с образованием грабенов, аналогичных Балейскому, рудные пояса Северо-Востока, некоторые районы Кавказа, Карпат и др. Несомненно, что в результате дальнейшего изучения газоносности вскрываемых рудоносных участков, будет накоплен новый материал по геологии и геохимии газов, который пополнит и уточнит изложенные в настоящей рабо-

те представления об особенностях проявления и закономерностях размещения природных газов в пределах месторождений балеЙского типа.

В основу геологического анализа исследуемой территории положены материалы и геологическая карта БалеЙского грабена, составленные П.С. Бернштейном, С.Г. Мирчинк и др. При характеристике гидрогеологии исследуемой площади использованы данные В.П. Новик-Качана, Г.И. Хнырева, Л.М. Орловой и др. наряду с результатами исследований автора в этой области.

В сборе материалов при полевых исследованиях автору помогали геологи и гидрогеологи комбината БалеЙзолото – В.И. Лозовский, И.Н. Кожевин, Л.И. Петрачков, С.В. Чеглоков, Г.И. Хнырев и др.

В процессе обработки собранных материалов автор в разное время консультировался у П.С. Бернштейна, А.А. Солодова (ЦНИГРИ), М.С. Нагибиной (ГИН АН СССР), Н.И. Толстихина (ЛГИ).

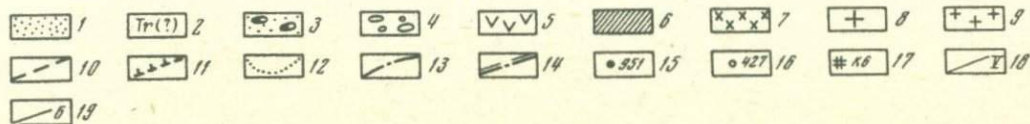
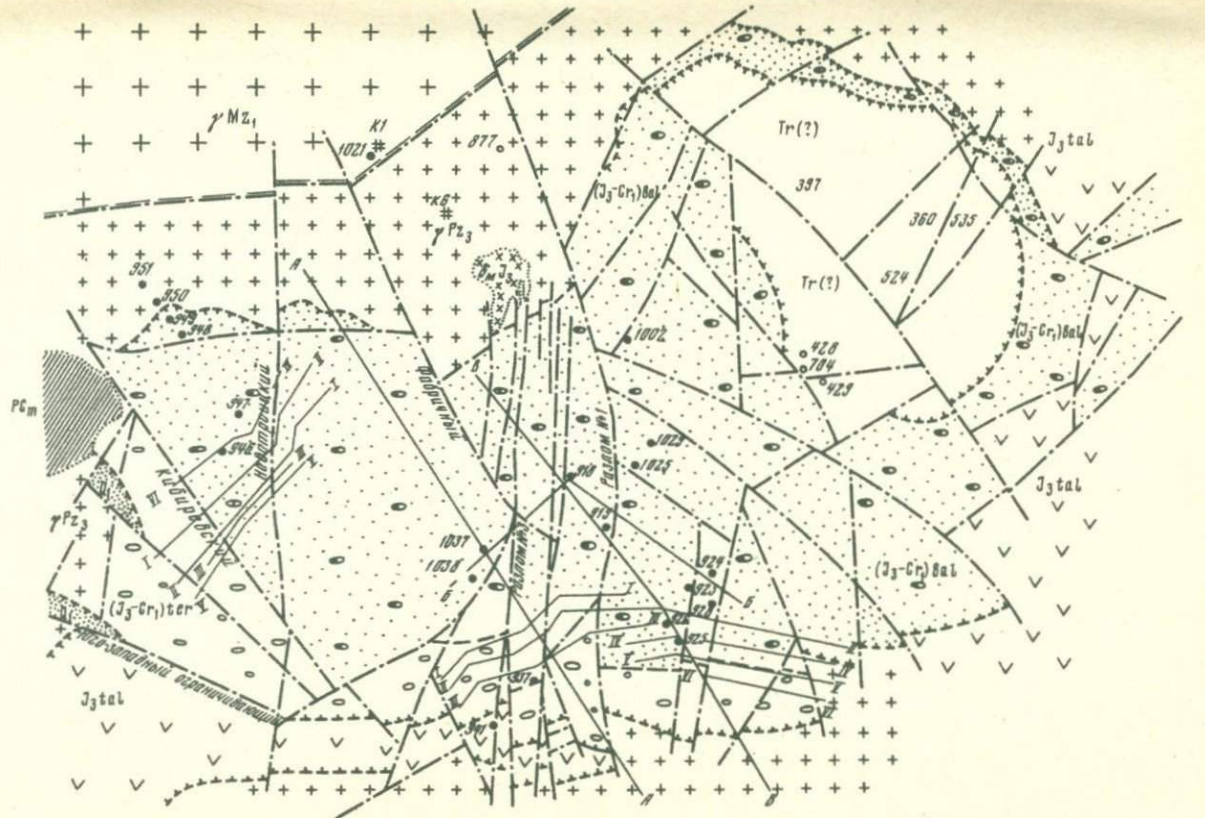
Всем этим товарищам автор выражает глубокую признательность.

Автор глубоко благодарен своему учителю профессору А.И. Кравцову за постоянные ценные указания и консультации, которые он получал в процессе проводимых исследований.

Балейская группа золоторудных месторождений приурочена к одноименной депрессии (грабену), расположенной в пределах герцинской складчатой зоны Восточного Забайкалья [1, 2]. С северо-запада и юго-востока она ограничена Борщовочным и Петровским хребтами, возвышающимися над днищем котловины на 600–700 м. Склоны и фундамент депрессии сложены в основном верхнепалеозойскими гранитоидами Ундинского интрузива, в которых кое-где сохранилась кровля докембрийских метаморфизованных пород, а в западной и южной частях – верхнеюрскими вулканогенно-осадочными образованиями, перекрывающими ундинские гранитоиды. Балейский грабен заполнен осадочными породами, возраст которых определен как переходный от верхней юры до нижнего мела. Наиболее молодыми образованиями в пределах Балейской депрессии являются конгломераты, условно отнесенные к третичному возрасту, и нижнечетвертичные пески "серой толщи" (рис. 1).

Рис.1. Геологическая карта Балейского грабена с расположением скважин газового опробования и профилей поверхностной газовой съемки

1 – нижнечетвертичные отложения, пески "серой толщи"; 2 – третичные (условно) конгломераты, каменная свита; 3 – верхнеюрские-нижнемеловые конгломерато-песчаниковые отложения балейской свиты; 4 – верхнеюрские – нижнемеловые конгломераты тергенской свиты; 5 – верхнеюрские и эффузивно-осадочные отложения талангуйской свиты; 6 – докембрийские метаморфические сланцы; 7 – верхнеюрские диорит-порфириды; 8 – нижнемезозойские (раннекимерийские) борщовочные граниты; 9 – верхнепалеозойские (герцинские) ундинские гранитоиды; 10 – геологические границы согласные; 11 – геологические границы несогласные; 12 – геологические границы интрузивные; 13 – тектонические нарушения; 14 – региональный Борщовочный разлом; 15 – скважины точечного газового каротажа; 16 – скважины водногазового опробования подземных вод; 17 – колодцы; 18 – профили газовой съемки; 19 – линии геологических разрезов



В геологическом строении района принимают участие докембрийские, мезозойские (верхнеюрские и переходные от верхней юры к нижнему мелу) и кайнозойские (третичные и четвертичные) образования (рис. 2).

Докембрийские нерасчлененные образования (Рсп)

Самые древние отложения района исследований — интенсивно метаморфизованные породы, отнесенные к докембрию на основании аналогии с толщами метаморфического комплекса, широко развитыми в пределах Ундино-Шилкинского водораздела. Небольшие площади, сложенные метаморфическими породами, встречаются на западе депрессии и кое-где вдоль южных склонов Борщовочного хребта. Эти образования представлены кристаллическими сланцами, мраморами и амфиболитами, Карбонатные породы имеют ограниченное распространение.

Система	Отдел	Свита	Индекс	Стратиграфическая колонка	Общая мощность, м	Характеристика пород
Четвертичная			Q		10-40	Пестроокрашенные глины и песок с небольшим количеством гравия — продукты разрушения борщовочных гранитов
Третичная		Каменская	Tr(?)		70-100	Крупногалечные конгломераты с редкими прослоями грубозернистых песчаников
Юрская — меловая	Верхний — нижний	Балейская	(J3-Cr) Bal		350-600	Разнозернистые песчаники, нередко кисловатые с линзами и прослоями алевролитов и конгломератов  Фауна: <i>Radix undensis Martinis</i> , <i>Bitynia</i> sp., <i>Cyrena kurzschouensis grab</i> Флора: <i>Phoenicopsis</i> sp. <i>Radicites</i> sp. <i>Equisetites</i> sp.
		Тергенская	(J3-Cr) ter		250-400	Крупногалечные конгломераты, хорошо сортированные, с редкими линзами грубозернистых песчаников  Фауна: <i>Viviparus</i> sp.
Юрская	Верхний	Таланцуйская	J3tal		150-300	Осадочно-вулканогенные образования представленные туфами, порфиритами, песчаниками с незначительным количеством растительных остатков  Фауна: <i>Posidonomya aff. bisleti Kost</i>

Рис. 2. Сводная стратиграфическая колонка Балейского грабена

## Мезозойские отложения

В пределах описываемой территории установлены осадочновулканогенные образования верхней юры и континентальные отложения переходного возраста от верхней юры к нижнему мелу.

### Верхнеюрские отложения (I<sub>3</sub>tal)

Талангуйская свита, Верхнеюрские вулканогенно-осадочные отложения, относимые к талангуйской свите, известны в юго-восточной и юго-западной частях Балейской депрессии, где они залегают на размытой поверхности ундинских гранитоидов. Эти образования, представленные преимущественно туфами, туфобрекчиями, туфоконгломератами, туфопесчаниками с незначительным количеством растительных остатков и порфиритами, являются частью талангуйской свиты, широко развитой за пределами района исследований. Литологический состав пород верхней юры очень изменчив по площади, что характерно для вулканогенных образований.

Общая мощность описываемых отложений в пределах депрессии достигает 150–300 м. Их возраст устанавливается по находкам фауны в верхней части разреза вулканогенно-осадочных образований Ундино-Данской депрессии, которая по данным Г.Г. Мартинсона относится к верхней юре.

### Верхнеюрские-нижнемеловые отложения

В настоящее время большинство исследователей среди верхнеюрских-нижнемеловых отложений в пределах Балейской депрессии выделяют две свиты (снизу вверх) – тергенскую и балейскую.

Тергенская свита (I<sub>3</sub>-C<sub>1</sub>) ter. Отложения тергенской свиты развиты в южной и западной частях депрессии и приурочены к наиболее погруженным ее участкам. Эти образования с несогласием залегают на верхнеюрских вулканогенно-осадочных отложениях или размытой поверхности ундинских гранитоидов. Они представлены монотонной толще разнообразных по составу крупногалечных конгломератов, среди которых встречаются прослойки мелкогалечных конгломератов с линзами крупнозернистых песчаников. Цвет конгломератов зеленовато-серый или вишнево-бурый за счет развития гидроокислов железа. В составе обломков (до 6–8 см в поперечнике) преобладают ундинские гранитоиды; имеются гальки песчаников, порфиритов верхней юры, пород древнего метаморфического комплекса. Гальки борщовочных гранитов отсутствуют. Обломки сцементированы песчаным и песчано-глинистым материалом.

Чередование крупногалечных и мелкогалечных прослоев, сменяющих друг друга по простиранию, хорошая окатанность обломков, наличие косой слоистости и сортировки указывают на аллювиальное происхождение этих отложений.

Возраст конгломератов тергенской свиты установлен как переходный от верхней юры до нижнего мела [2].

Общая мощность отложений тергенской свиты в пределах депрессии достигает 250–400 м.

**Балейская свита** ( $I_3-C_{T1}$ ) bal. Отложения балейской свиты распространены почти по всей площади Балейской депрессии, согласно залегают на конгломератах тергенской свиты или размытой поверхности пород фундамента. Состав отложений свиты весьма разнообразен. В основном это толща переслаивающихся разнозернистых песчаников и алевролитов серого и зеленовато-серого цвета с подчиненными прослоями мелкообломочной брекчии и конгломератов. Песчаники и алевролиты балейской свиты являются осадками поймы реки и старичных озер. Для этих образований характерны хорошо выраженная косоволнистая и волнистая слоистость, сортированность материала, значительное содержание в них обугленных растительных остатков, а также наличие конкреций сидерита и пирита, приуроченных к отдельным горизонтам. Осадки балейской свиты (русловой и пойменной фаций) по периферии депрессии постепенно сменяются пролювиально-делювиальными отложениями, представленными пестроокрашенными фангломератами, конгломератобрекчиями и дресвяниками с редкими линзочками, обогащенными обугленными растительными остатками. Цемент грубообломочной фации в одних случаях песчаный, песчано-дресвяный, в других – представлен глинистым материалом. Значительные размеры обломков (свыше 30 см в поперечнике), их плохая окатанность и сортированность указывают на образование этих отложений за счет разрушения пород, слагающих блоки северного борта грабена.

В результате резких блоковых движений, вызванных, вероятно, землетрясением, в переходный период от верхней юры к нижнему мелу образовался "глыбовый горизонт". Этот горизонт вскрыт рядом скважин разведочного бурения на северо-западе Балейской депрессии (северо-западный участок) среди отложений балейской свиты. Он сложен огромными глыбами ундинских гранитоидов, связанными более мелкими обломками гранитоидного состава. Площадь распространения "глыбового горизонта" ограничена тектоническими нарушениями. Мощность горизонта достигает 380 м.

По данным П.С. Бернштейна, Л.Я. Лапиной и др. верхнеюрский – нижнемеловой (переходный) возраст образований балейской свиты установлен по фауне и флоре, характерным для этого периода. Общая мощность отложений балейской свиты достигает 350–600 м.

### Кайнозойские отложения

Среди пород Балейской депрессии установлены образования, отнесенные условно к третичному периоду, а также еще более молодые нижнечетвертичные и современные отложения.

Каменная свита. В северо-восточной части депрессии на размытых осадках балеической свиты и ундинских гранитоидах палеозоя залегают валунно-галечные, плохо сцементированные конгломераты, выделенные в каменскую свиту. Обломочный материал конгломератов имеет различный петрографический состав: граниты, гранодиориты, кварц, пегматиты и др. Обломки пород боршовочного комплекса в этих отложениях, так же как и среди более древних осадочных образований, отсутствуют. Обломочный материал хорошо окатан и достигает значительных размеров (до 30-40 см в поперечнике). Цемент песчано-дресвяный, окрашен в лиловый и бурый цвета различных оттенков. В толще конгломератов выделяются отдельные горизонты песчано-глинистых отложений. В результате выветривания некоторые гальки и валуны превращены в дресву. Отложения каменной свиты по северной окраине депрессии перекрываются песчано-глинистыми и обломочными отложениями пролювиально-делювиального шлейфа Боршовочного хребта.

Относительно хорошая окатанность обломков и наличие слоистости и сортированности материала позволяют предположить аллювиальное происхождение этих образований. Мощность отложений каменной свиты достигает 70-100 м. На основании сопоставления с подобными породами в соседних районах возраст каменных конгломератов условно считается третичным [2].

#### Четвертичные образования

Четвертичные образования в районе исследований представлены нижнечетвертичными пролювиально-аллювиальными отложениями и современными осадками.

Нижнечетвертичные отложения ( $Q_1$ ). К наиболее древним образованиям четвертичного возраста относятся отложения "серой толщи", выполняющие отдельные небольшие понижения типа грабенов на западе и северо-западе Балеической депрессии. Эти отложения представлены толщей аллювиальных косослоистых серых песков с плохо-окатанной галькой, образующих среди грубообломочного несцементированного материала быстровыклинивающиеся линзы. Грубообломочный материал имеет полевошпатовый состав и представляет собой древний пролювий-продукт разрушения гранитов Боршовочного хребта. Обычно в "серой толще" содержится некоторое количество монацита, присутствующего в боршовочных гранитах как аксессуарный минерал. Мощность древнечетвертичных отложений достигает 20-40 м.

Верхнечетвертичные и современные отложения. Этот комплекс пород представлен аллювиальными образованиями долины р. Унды и ее притоков, а также делювиальными и делювиально-пролювиальными отложениями склонов водоразделов. Аллювиальные образования состоят из гравийногалечного и песчаного материала, обо-

гашенного на некоторых участках глинистой и алевролитовой фракцией. В пойме р. Унды почти повсеместно аллювий подстилается слоем плотных элювиальных суглинков, образовавшихся за счет выветривания песчанико-конгломератовых отложений балейской толщи. Мощность аллювиальных образований в пойме реки достигает 10 м, на террасах — 30 м.

Мощность делювиальных и делювиально-пролювиальных отложений, развитых повсеместно, изменчива и колеблется от долей метра до нескольких десятков метров у подножья Боршовочного хребта.

## МАГМАТИЗМ

В пределах описываемой территории установлены следующие интрузивные и эффузивные магматические образования: верхнепалеозойские ундинские гранитоиды ( $\gamma Pz_3$ ), нижнемезозойские боршовочные граниты ( $\gamma Mz_1$ ), верхнемезозойские эффузивы ( $I_3^{tal}$ ), верхнеюрские малые интрузии ( $\delta u I_3$ ), гидротермальные жильные образования посленижнемелового возраста.

Верхнепалеозойские ундинские гранитоиды ( $\gamma Pz_3$ ). Они слагают борта и дно Балейского грабена и широко известны за его пределами. В состав этого комплекса входят биотитовые граниты, гранодиориты, лейкократовые граниты.

Биотитовые граниты характерны для центральной и юго-восточной частей депрессии. Они представляют собой мелко- или среднекристаллические светло-серые породы, в которых содержание биотита достигает 5-10% (от объема породы). К северной и северо-западной окраинам впадины ундинские гранитоиды приобретают более основной состав в результате контаминации ксенолитов кровли вмещающих амфиболитов, превращаясь в гранодиориты, состоящие из плагиоклаза, кварца, калиевого полевого шпата, биотита, роговой обманки.

Лейкократовые граниты не играют существенной роли в сложении района. Они известны на небольшой площади северной части депрессии, где образуют линзообразные тела мощностью до 10-20 м, согласные с первичной полосчатостью гранодиоритов. От биотитовых гранитов они отличаются пониженным содержанием биотита (от 0 до 3-4%).

Возраст ундинских гранитоидов определяется приблизительно как среднекаменноугольный. К северо-востоку от г. Балей (падь Сенкокуча) на ундинских гранитоидах трансгрессивно залегают отложения триаса. Таким образом, верхний предел возможного возраста этих гранитоидов ограничивается триасом.

Нижнемезозойские боршовочные граниты ( $\gamma Mz_1$ ). Центральная часть Боршовочного интрузивного массива, тяготеющая к северной, северо-западной границе Балейского грабена, где вдоль Боршовочного нарушения граничит с ундинскими гранодиоритами, сложена глав-

ным образом светло-серыми (бурыми в выветреном состоянии) порфировидными гранитами. В их состав входит 40–50% калиевого полевого шпата (ортоклаза, реже микроклина), 10–15% плагиоклазов (олигоклаз или олигоклаз-андезин), 30–40% кварца и 5–15% биотита. Из акцессорных минералов характерен монашит. Порфировидные граниты вблизи Борщовочного нарушения подверглись интенсивной перекристаллизации до гранитогнейсов, а непосредственно в зоне контакта с гранодиоритами Ундинского комплекса они превращены в милониты. Определение абсолютного геологического возраста свинцовым методом, произведенное ГИН, позволяет относить внедрение борщовочных гранитов к нижней юре (120 млн. лет).

Верхнеюрские эффузивы ( $I_3^{tal}$ ). Они представлены разнообразными порфиритами, сопровождающимися пирокластическими продуктами вулканических извержений (туфами).

Распространение и возраст этих эффузивных образований соответствуют распространению и возрасту туфогенных пород, описанных выше в разделе "Стратиграфия".

Верхнеюрские малые интрузии ( $\delta и I_3$ ). В пределах Балейской впадины, в наиболее нарушенных ее участках (северный борт и центральная часть), развит комплекс малых интрузий. По данным разведочного бурения – это дайки и мелкие штоки, имеющие крутое падение и мощности, колеблющиеся от единиц до десятков метров.

Интрузивные тела сложены в основном гранит-порфирами. Их контакт с вмещающими породами четко выражен зонами закалки.

Возраст комплекса малых интрузий считается верхнеюрским, так как ими прорываются вулканогенно-осадочные отложения верхней юры, а гальки пород, слагающих интрузивные тела, встречаются в осадочной толще переходного возраста от верхней юры до нижнего мела.

#### Гипротермальные (жильные) образования посленижнемелового возраста

Косвенными признаками возобновления вулканической деятельности в посленижнемеловое-дотретичное время являются проявления интенсивных гидротермальных процессов, в результате которых образовались крупнейшие золоторудные месторождения. Жильный комплекс приурочен к ундинским гранитоидам, конгломератам и песчаникам Балейского grabena и его прибортовых зон. Золотое оруденение по своим морфологическим особенностям относится к типу жильных образований, сопровождающихся мелкопрожилковой и вкрапленной минерализацией. Главная часть выявленных рудопроявлений сосредоточена в пределах наиболее тектонически нарушенных участков средней части депрессии, образуя рудные узлы: Северный, Южный, Юго-Западный. Морфологические особенности этих рудных узлов находятся в прямой зависимости от структуры участков. Так, в северной части рудного поля (Северный рудный узел), где развито мелкоблоковое раздробление пород, оруденение имеет в основном штокверковый характер. В южной же части поля

(Южный рудный узел), где проявляются протяженные тектонические нарушения северо-восточного простирания, благоприятные для локализации оруденения, преобладают протяженные жилы и жильные рудные зоны.

Главными элементами штокверков служат единичные крупные жилы мощностью до 1 м (реже до 2 м), вытянутые вдоль пологих зон смятия, и многочисленные короткие маломощные (до 0,2 м) крутопадающие жилы, ориентированные в различных направлениях. В узлах сближенных жил (штокверках) господствуют меридиональные направления. Жилы широтных направлений развиты мало.

Рудные зоны южной части Балейского грабена, каждая из которых включает от 2 до 20 относительно сближенных жил, имеют мощности от нескольких метров до десятков и даже первых сотен метров. Расстояния между жильными зонами измеряются несколькими сотнями метров. В пределах каждой рудной зоны выделяются одна-две крупные "магистральные" жилы мощностью до 1-2 м (реже 4 м) и сопутствующие им маломощные (до 0,20 м) жилки и прожилки. Формы жильных тел большей частью сравнительно просты, малоизвилисты. Местами жилы, разветвляясь, образуют серии субпараллельных прожилков.

Жильные тела балейской группы месторождений отличаются однородностью вещественного состава [2]. В основном это различных генераций тонкозернистый до халцедона кварц (90-99% жильного вещества), среди которого выделяются тонкополосчатые, пластинчатые и неяснополосчатые текстурные различия. Золото балейского типа в руде в основном представлено тонкодисперсными выделениями. По незначительному содержанию в жильных телах сульфидов (0,05-1,5%) балейский тип месторождений относится к семейству убогосульфидных руд.

Важная геологическая особенность месторождения - слепой характер оруденения. Слепые рудные тела перекрыты наносами мощностью до 50-100 м (рис. 3).

Рудные тела приурочены к тектоническим нарушениям в верхнеюрских-нижнемеловых осадочных образованиях депрессии и отсутствуют в третичных каменных конгломератах, что указывает на посленижнемеловой (дотретичный) возраст их формирования. Приуроченность оруденения к тектоническим структурам глубинного заложения позволила предположить сравнительно глубокое положение рудоносного очага [3], отдельные отщепления которого обусловили локальное развитие молодого вулканизма (четвертичные базальты). Последние представляют собой большой интерес для выявления основных геологических факторов, определяющих газоносность Балейских золоторудных месторождений. Такие молодые эффузивные образования, хотя и неизвестны непосредственно в Балейской депрессии, имеются поблизости, в верховьях долины р. Даи, на северо-востоке от района исследований. Следы поствулканической деятельности здесь сохранились и до настоящего времени в виде выходов углекислых минеральных источников и выделений спонтанного газа (углекислого) по тектоническим нарушениям.

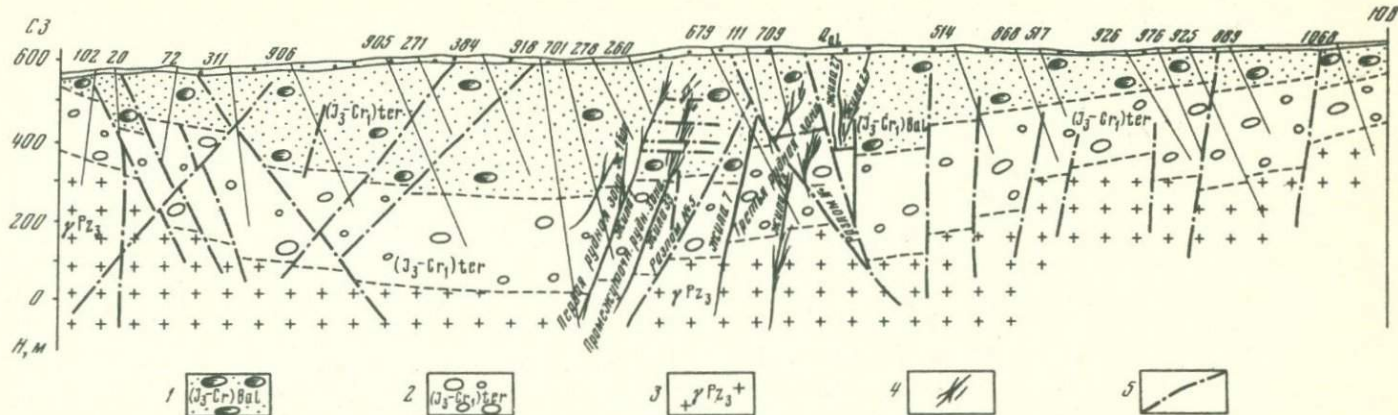


Рис. 3. Геологический разрез БалеЙского грабена по линии ВВ (Центральный участок, см. рис. 1)

1 - верхнеюрские-нижнемеловые песчаники балеЙской свиты; 2 - верхнеюрские -нижнемеловые конгломераты тергенской свиты; 3 - верхнепалеозойские ундинские гранитоиды; 4 - тектонические нарушения; 5 - кварцевые жилы и прожилки

Балейская депрессия в структурном отношении представляет собой изолированную асимметричную тектоническую впадину (грабен), заполненную мезозойскими континентальными отложениями мощностью до 600 м. Грабен вложен в структуру более крупного порядка - верхнеюрскую Ундино-Данскую депрессию, - протягивающуюся в северо-восточном направлении.

Балейская депрессия вытянута в восток-северо-восточном направлении и имеет протяженность около 10 км при ширине 6-7 км (см. рис. 1). С северо-запада грабен примыкает к Борщовочному антиклинорию, вытянутому в северо-восточном направлении. В строении антиклинория принимают участие палеозойские и докембрийские метаморфические породы. "В ядро антиклинория вдоль протяженного регионального разлома (Борщовочного нарушения) внедрился крупный раннекеммерийский интрузив борщовочных гранитов" [2]. Последние развиты только к северу от Борщовочного разлома. К югу от него как в основании Балейского грабена, так и по южному его обрамлению развиты верхнепалеозойские ундиинские гранитоиды.

Балейский грабен отличается сложным тектоническим строением. Он ограничен краевыми разломами северо-восточного, северо-западного и близмеридионального направлений, по которым произошло значительное опускание северо-западных и центральных участков депрессии. Согласно наблюдениям в горных выработках краевые нарушения представляют собой сбросы в фундаменте депрессии. Нарушения пород по этим сбросам впоследствии частично захватили осадки верхнеюрского-нижнемелового возраста, выполняющие грабен [2, 3].

Внутреннее строение грабена характеризуется наличием системы разновозрастных северо-восточных и особенно близмеридиональных разломов, расчленяющих депрессию на ряд блоков, смещенных относительно друг друга (до первых сотен метров) и разбитых в свою очередь более мелкими нарушениями (см. рис. 1, 3, 4). Региональ-

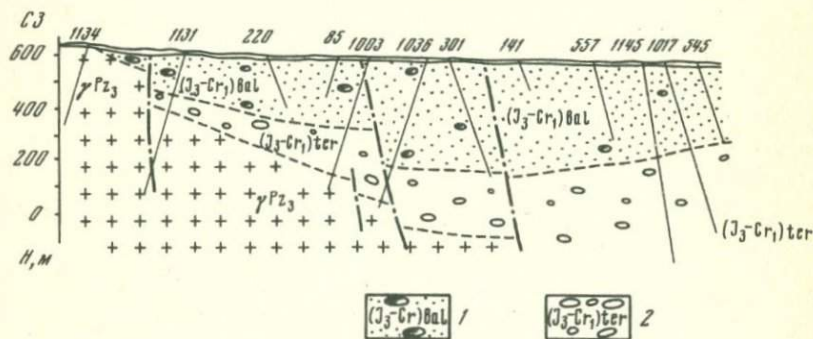


Рис. 4. Геологический разрез Балейского грабена по линии АА (Западный участок, см. рис. 1)

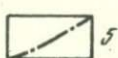
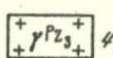
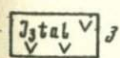
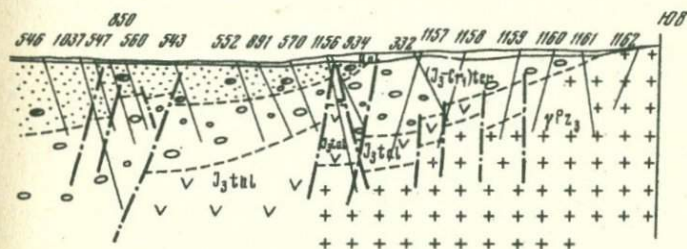
1 - верхнеюрские-нижнемеловые конгломератово-песчаниковые

ный Боршовочный разлом, располагающийся вдоль северо-западной границы депрессии, — наиболее древний из разломов исследуемой площади. По данным Б.А. Максимова — это надвиг, падающий на юг под углом около  $40^\circ$  и прослеженный на сотни километров по простиранию в северо-восточном направлении. Боршовочный глубинный разлом был заложен в палеозое.

Внутреннее строение грабена осложняют так называемые дорудные разломы, главным образом поперечные к его оси, образовавшиеся до отложения пород балеической свиты. Эти нарушения, смещающие верхнеюрские-нижнемеловые отложения и выполненные жильными рудоносными телами, заложены, очевидно, непосредственно перед оруденением или одновременно с ним. Исследователи Балеической группы месторождений полагают, что главные поперечные и некоторые продольные сбросы, расчленяющие депрессию на блоки, продолжаются на значительную глубину в породах фундамента, имея связь с Боршовочным глубинным разломом, сохранившим мобильность включительно до четвертичного времени.

Послерудная тектоническая деятельность выразилась в подновлении ряда имеющихся нарушений и образовании новых поперечных сбросов, сместивших рудные тела, но не оказавших влияния на каменные конгломераты третичного возраста. В восточной части депрессии выделены тектонические нарушения, смещающие третичные каменные конгломераты и названные послекаменискими. Самые юные тектонические движения сместили отложения "серой толщи", выполняющей четвертичные грабены. Последние обычно приурочены к региональному глубинному Боршовочному разлому, что указывает, очевидно, на подновление его в этот период.

Сложную систему разновозрастных тектонических нарушений можно проследить на примерах рудных участков, изученных более детально. Так, в пределах северного рудного узла среди дорудных нарушений (секут все породы, включая отложения тергенской свиты) выделяется основной Контактный разлом северо-восточного простирания



отложения балеической свиты; 2 — верхнеюрские-нижнемеловые конгломераты, тергенской свиты; 3 — верхнеюрские эффузивно-осадочные породы талангуйской свиты; 4 — верхнепалеозойские ундиинские гранитоиды; 5 — тектонические нарушения



с плоскостью сместителя, крутопадающей ( $60-70^{\circ}$ ) на юг. Параллельно этому разлому, севернее от него, в удинских гранодиоритах, развита система надвигов, а на юге, в верхнеюрских-нижнемеловых конгломератах, — система мелких сбросов, по которым северный борт грабена смещен в виде ступеней. Кроме того, на этом рудном участке выделяются субмеридиональные системы крутопадающих протяженных разломов, образующих мелкоблоковую структуру. Золотоносные жилы северного рудного участка приурочены в основном к относительно более молодым нарушениям. Это серия тектонических зон интенсивного дробления и смятия пород, расположенных к северу и к югу от Контафтового разлома. Рудоносна также система мелких крутопадающих трещин малой протяженности, приуроченная к зонам смятия.

В результате послерудной тектонической деятельности в пределах Северного рудного узла были оживлены близмеридиональные сбросы и смещены пологие зоны. Кроме того, в восточной части северного рудного участка имеются нарушения, не несущие рудной минерализации. Вероятно, они также возникли в послерудное время.

Южный и юго-западный рудные узлы по своим структурным особенностям резко отличаются от северного. Здесь кроме протяженных дорудных близмеридиональных сбросов, разбивающих южную периферию грабена на крупные блоки, развиты крутопадающие протяженные (многие сотни метров по простиранию) предрудные сбросы северо-восточного простирания с поверхностью сместителя, падающей на северо-запад под углом  $60-80^{\circ}$ . К этим сбросам приурочены все разведанные главные кварцевые золотоносные жилы и жильные зоны южных участков. Рудными прожилками выполнены также непротяженные, мало-мощные трещины, расположенные в висячих и лежачих боках предрудных сбросов. К дорудным нарушениям здесь относятся и пологие зоны дробления, сходные с пологими зонами северного рудного участка. Эти нарушения обладают протяженностью до первых сотен метров по простиранию и имеют север-северо-восточное падение под углом  $10-12^{\circ}$ . Обычно эти нарушения выполнены глиной трения, грубо-кластическими брекчиями и иногда линзовидными прожилками кварца. Пологозалегающие зоны дробления пересекают и смещают крутопадающие сбросы, являясь своеобразными экранами для рудоносных растворов. В пределах рудных участков также выделяются послерудные нарушения (образовавшиеся до отложения третичных каменных конгломератов) подновившие более древние нарушения и сместившие под различными углами рудные тела.

Все сказанное выше позволяет представить особенности структурного строения рудных участков месторождений и важную роль дизъюнктивной тектоники в размещении оруденения.

В пределах Балейского грабена наиболее разведана его центральная и юго-западная части. Восточная и северо-западная части еще слабо разведаны буровыми скважинами. В связи с этим возникает задача выявления размещения минерализации этих и других неразведанных участков. Исходя из особенностей геологического строения изученных рудных узлов прежде всего следует уделять большое внимание выявлению и прослеживанию тектонических нарушений, определяющих размещение кварцевых золотоносных жил, что в условиях Балейской депрессии является сложной задачей.

Подземные воды Балейской депрессии по характеру водовмещающих пород подразделяются на два водоносных горизонта: грунтовые воды рыхлых четвертичных образований и высоконапорные трещинножилые воды коренных горных пород [4].

1. Грунтовые воды рыхлых образований встречаются главным образом в аллювиальных отложениях поймы рек и надпойменных террас (рис. 5). Мощность водоносного горизонта изменяется от 2,5 до 10 м (а по бровкам террас и до 30 м). По химическому составу они относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу (табл. 1) и могут быть выражены следующей характерной формулой солевого состава:



Формирование химического состава этих вод происходит в основном в процессе вымывания водой легко в ней растворимых компонентов (например, Ca, Mg,  $SO_4$ ), содержащихся в составе рыхлой толщи, имеющей разнообразный минералогический и петрографический состав. Гидрокарбонат образуется за счет углекислого газа воздуха, присутствующего в инфильтрационных водах в тех или иных количествах, а иногда и глубинного происхождения. В отдельных случаях присутствие в грунтовых водах значительных количеств натрия указывает на смешение этих вод с подземными водами коренных пород, имеющих иной химический состав.

В подземных водах рыхлых образований обычно содержатся в незначительных количествах хлориты, азотистые и аммонийные соединения. Источником пополнения подземных вод этими соединениями, а также некоторой частью сульфат-иона является загрязнение вод промышленными и бытовыми отбросами.

Грунтовые воды рыхлых отложений характеризуются незначительной минерализацией, достигающей 0,1-1,0 г/л. Это связано с быстрым и свободным водообменом в толще рыхлых отложений, обладающих высокими фильтрационными свойствами, а также широкой связью подземных вод этого горизонта с поверхностными водами открытых водоемов и атмосферными осадками. Воды жесткие (общая жесткость 5-25%), реакция слабокислая или слабощелочная  $pH = 6,4-8,6$ .

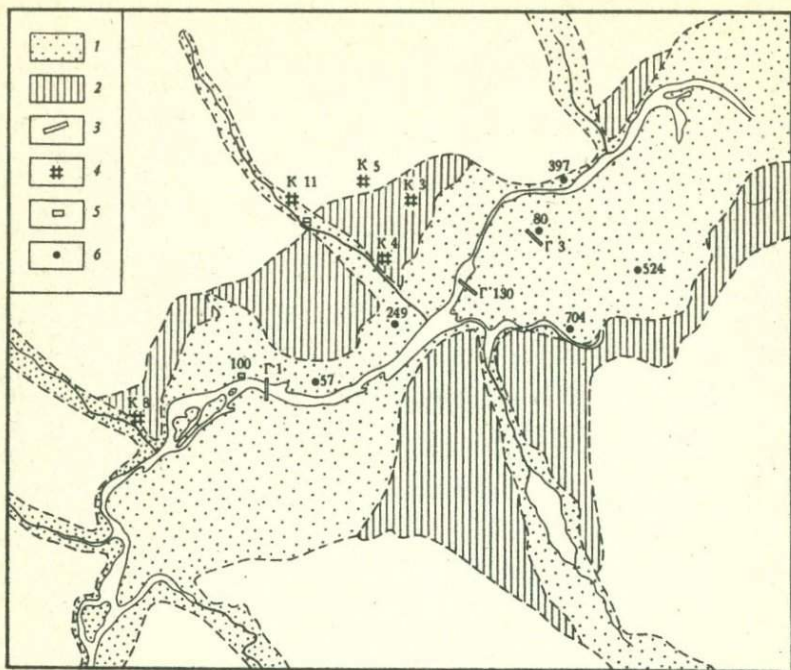


Рис. 5. Схематическая карта распространения подземных вод рыхлых четвертичных отложений

1 - аллювиальные воды поймы реки и ее боковых притоков; 2 - подмерзлотные аллювиальные воды надпойменных террас; 3 - галерея; 4 - колодец; 5 - шурф; 6 - скважина

Основная территория распространения грунтовых вод рыхлых образований в депрессии совпадает с площадью развития многолетней мерзлоты, являющейся одним из основных факторов, влияющих на распространение и режим подземных вод. Так, на участках распространения многолетней мерзлоты, среди грунтовых вод рыхлых отложений выделяются под-, меж- и надмерзлотные водоносные горизонты, последний из которых в зимний период почти полностью перемерзает, так как сезонная мерзлота сливается с многолетней.

Грунтовые воды рыхлых отложений, кроме вод надмерзлотного горизонта, носят характер свободного грунтового потока. Подмерзлотные же воды обладают напором, достигающим 10-20 м. Питание грунтовых вод происходит за счет атмосферных осадков, воды открытых водоемов и водотоков, трещинных вод коры выветривания, а также трещинно-жильных вод тектонических нарушений, пересекающих коренные породы кристаллических массивов.

Таблица 1

## Химический состав грунтовых вод рыхлых отложений

№ пробы	Водопункт	М <sup>об'</sup> мг/л	рН	Ж <sup>об'</sup> мг-экв	СО <sub>2</sub> свобод- ный, мг/л	Ион, мг/л						Солевой состав
						Na+K'	Ca''	Mg''	Cl'	SO <sub>4</sub> '	HCO <sub>3</sub> '	
1	Шурф № 100	195	7,0	2,4	13,2	3,3	30,8	10,6	15,7	-	134,2	$M_{0,2} \frac{HCO_3^3 90 Cl 10}{Ca_6 Mg_{24} Na_{12}}$
2	Шурф № 30	235	7,0	2,7	88,2	2,76	44,0	6,1	2,2	29,6	134,2	$M_{0,24} \frac{HCO_3^3 76 SO_4^4 21}{Ca_{77} Mg_{17} Na_4}$
3	Галерея № 1	887	6,6	5,2	42,2	197,7	114,0	24,0	65,4	352,2	274,4	$M_{0,9} \frac{SO_4^4 54 HCO_3^3 32 Cl 13}{Na_{16} Ca_{23} Mg_{14}}$
5	Колодец № 5	265	7,7	4,4	-	13,6	59,0	17,9	13,1	14,4	266,5	$M_{0,27} \frac{HCO_3^3 87 Cl 7 SO_4^4 6}{Ca_{58} Mg_{29} Na_{12}}$
8	Колодец № 6	120	6,4	1,25	28,6	7,5	16,6	5,0	7,1	8,0	73,2	$M_{0,12} \frac{HCO_3^3 76 Cl 13 SO_4^4 10}{Ca_{53} Mg_{26} Na_{21}}$

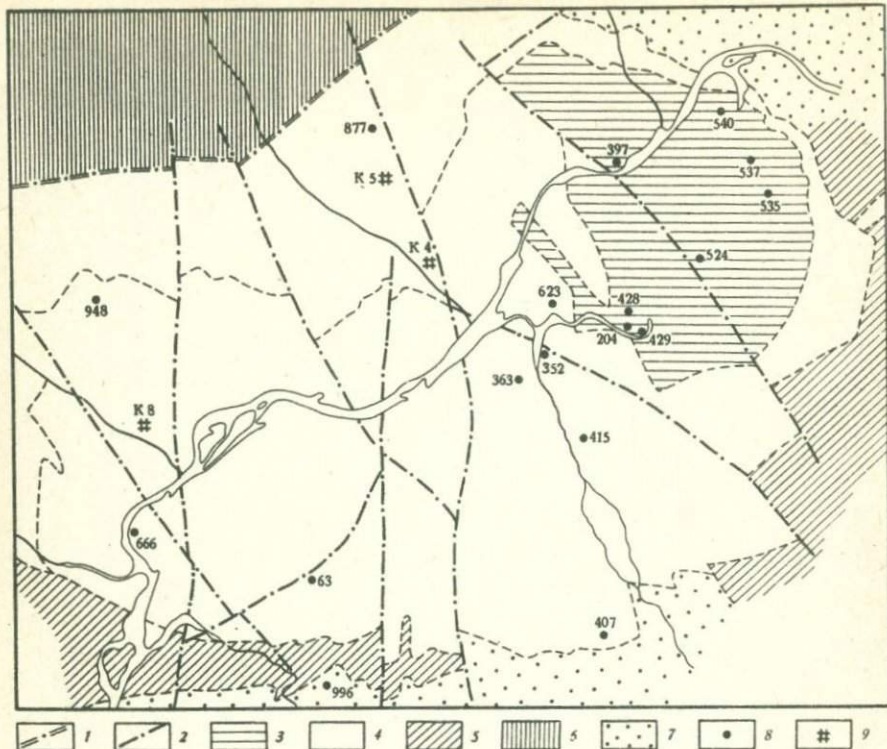


Рис. 6. Схематическая гидрогеологическая карта Балейской депрессии

1 - региональный Боршовочный разлом; 2 - тектонические нарушения; 3 - трещинные воды третичных конгломератов; 4 - трещинные воды в песчано-конгломератовых породах (верхнеюрско-нижнемелового возраста), выполняющих грабен; 5 - трещинные воды верхнеюрских туфогенно - осадочных пород; 6 - трещиновые воды боршовочных нижнемезозойских гранитов; 7 - трещинные воды верхнепалеозойских ундинских гранитоидов; 8 - скважина; 9 - колодец

Качественно эти воды вполне пригодны для питьевого и хозяйственного снабжения и широко используются промышленными и коммунальными организациями.

2. Подземные воды коренных горных пород в пределах Балейской депрессии (рис. 6), исходя из характера водопроницаемости пород, подразделяются на:

трещинные воды интрузивных пород палеозойского и мезозойского возраста;

трещинные воды осадочных пород, выполняющих грабен;

трещинно-жильные (локальные) воды глубоких зон тектонических нарушений.

Таблица 2

## Химический состав подземных вод гранитов

№ пробы	Водо-пункт	Глубина отбора пробы, м	M <sub>об'</sub> мг/л	pH	Ж <sub>об'</sub> мг/экв	CO <sub>2</sub> свободный, мг/л	Ион, мг/л						Солевой состав
							Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>==</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
1	Источник № 18	-	249,0	7,0	3,0	13,2	24,5	56,0	10,6	10,6	30,5	234,9	$M_{0,25} \frac{HCO_3^3 SO_4^4}{Ca_{60} Na_{21} Mg_{19}}$
2	Скв. 877	30	330,0	7,2	5,0	35,2	4,4	66,1	20,6	14,2	20,0	268,4	$M_{0,39} \frac{HCO_3^3}{Ca_{63} Mg_{33}}$
3	Скв. 996	56	310,0	6,7	4,1	47,9	Нер	59,9	13,4	10,6	31,5	195,2	$M_{0,3} \frac{HCO_3^3 SO_4^4}{Ca_{73} Mg_{27}}$
4	Скв. 540	90	440,5	7,2	2,30	24,8	73,4	26,3	12,0	7,3	5,4	315,3	$M_{0,44} \frac{HCO_3^3}{Na_{50} Ca_{24} Mg_{18}}$

Таблица 2 (окончание)

№ пробы	Водо-пункт	Глубина отбора пробы, м	M <sub>об'</sub> , мг/л	рН	Ж <sub>об'</sub> , мг-экв	CO <sub>2</sub> свободный, мг/л	Ион, мг/л						Солевой состав
							Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>'</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>##</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>'</sup>	
5	Скв. 537	91	576,1	7,3	1,3	Следы	132,1	13,0	5,0	5,0	27,0	390,0	$M_{0,58} \frac{HCO_3^3}{90} Na_{82} Ca_{12}$
6	Колодец № 5	-	401,0	6,4	4,2	85,8	63,9	88,0	21,2	58,3	11,1	317,2	$M_{0,4} \frac{HCO_3^3 Cl}{73 \quad 23} Na_{41} Ca_{35} Mg_{27}$
7	Северный рудный узел, гориз. 6	193	900,8	7,8	6,7	47,5	208,2	142,0	33,6	44,9	297,2	524,6	$M_{0,9} \frac{HCO_3^3 SO_4^4}{53 \quad 39} Na_{57} Ca_{25} Mg_{17}$

А. Трещинные воды интрузивных пород (ундинских и боршовочных гранитов) палеозойского и мезозойского возраста, слагающих борта Балейского грабена, вскрыты многими разведочными скважинами и горными выработками рудников. Воды эти напорные. Основные пути движения подземных вод гранитов – тектонические нарушения. Глубина залегания этих вод в зависимости от трещиноватости гранитов и гипсометрии рельефа изменяется от 1 до 200 м и более.

По химическому составу трещинные воды гранитоидов относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу с минерализацией до 0,4 г/л. По мере увеличения глубины залегания происходит увеличение их минерализации до 0,9 г/л и воды становятся гидрокарбонатно-натриевого типа (табл. 2).

Питание трещинных вод гранитов происходит в основном за счет грунтово-трещинных вод хребтов.

Б. Трещинные воды осадочных пород, выполняющих грабен-песчано-конгломератовых отложений депрессии, вскрыты многими горными выработками рудников и большим количеством разведочных скважин, часть из которых дала самоизливающуюся воду. Напор этих вод достигает 200 м и более от залегания водоносной структуры и превышает поверхность земли на 3–4 м. Подземные воды осадочных пород грабена встречены на различных глубинах (от единиц до сотен метров).

Водоносные структуры представлены зонами тектонических нарушений (разломов). Сильно тектонически нарушенные осадочные породы, к которым относятся конгломераты различных свит, являются наиболее обводненными. Все разведочные скважины при проходке этих пород вскрыли высоконапорные подземные слабоминерализованные воды с дебитом некоторых самоизливающихся скважин, достигающим 14–16 л/сек (табл. 3; скв. 428, 429).

Таблица 3

Основные данные исследований  
по некоторым самоизливающимся скважинам

№ скважины	Глубина водоносного горизонта, м	Дебит при вскрытии, л/сек	T°, C	Порода водоносного горизонта
428	128	14,3	2,4	Конгломераты
429	20	16,0	1,0	—
524	144	3,5	2,5	Конгломераты (цемент-песчано-глинистый)
535	50	2,0	0,5	То же
704	47	11,6	0,8	Грубозернистые песчаники

Песчаники и мелкогалечные конгломераты, имеющие глинистый цемент, менее трещиноваты и отличаются незначительной водообильностью (скв. 524, 535). Дебит слабоминерализованных подземных вод песчаных отложений, встреченных горными выработками рудника Южного рудного узла, не превышает 0,1 л/сек.

Трещинные воды песчано-конгломератовых пород грабена в самоизливающихся скважинах имеют температуру до 3°C, а по горизонтам рудников от 1°C на верхних горизонтах до 7°C на более глубоких горизонтах (горизонт 316 м).

По химическому составу эти воды - гидрокарбонатнонатриевые (лишь в верхних горизонтах и краевых частях депрессии встречаются воды с преобладанием гидрокарбонатов кальция) с минерализацией, не превышающей 1 г/л, и имеют, как правило, слабощелочную или нейтральную реакцию.

Высоконапорные трещинные воды грабена содержат небольшие количества сероводорода (табл. 4). Присутствие сероводорода отмечено во всех самоизливающихся скважинах северо-восточной, южной и юго-западной частей депрессии, в пределах развития верхнеюрских-нижнемеловых конгломератов и песчаников. При проходке горных выработок Южного рудного узла присутствие сероводорода отмечалось в свежих выработках в основном на глубоких горизонтах (266 и 316 м).

Балейская депрессия является межгорным артезианским бассейном. Значительное превышение областей питания (примыкающие участки Петровского и Боршовочного хребтов) над областью аккумуляции подземных вод обеспечивает их высокие напоры. Разгрузка и взаимосвязь подземных вод почти полностью отсутствуют (не считая искусственные выработки), о чем свидетельствует различие химического состава вод рыхлых и коренных образований (первые - гидрокарбонатные кальциевые, вторые - гидрокарбонатные натриевые и содержат сероводород).

Отсутствие свободного водообмена, а также газообмена обусловлено перекрытием водоносных тектонических структур водонепроницаемыми глинистыми продуктами выветривания коренных горных пород и наличием островной многолетней мерзлоты значительной мощности. Этот фактор привел к возникновению в грабене восстановительной обстановки, на что указывает наличие стяжений марказита и сидерита и присутствие сероводорода в подземных водах осадочных пород депрессии.

В. При проходке горных выработок и некоторых разведочных скважин наряду с участками циркуляции почти неминерализованных вод было встречено большое количество минерализованных источников, насыщенных углекислым газом. Впервые такие воды были обнаружены в 1837 г. Н.С. Спиридоновым в горных выработках Северного рудного узла, затем в 1943 г. наблюдались Л.М. Орловой. Первый анализ этой воды по формуле Курлова приведен в работе М.П. Михайлова и Н.И. Толстихина (1946 г.).

В результате проведенных в последнее десятилетие [2, 4, 5 и др.] гидрогеологических исследований было выявлено, что в пределах Балейского грабена высоконапорные минерализованные углекислые воды распространены главным образом на участках сосредоточенного раз-

Таблица 4

Химический состав подземных вод песчано-конгломератовых пород

№ сква- жины	Глубина отбора проб	pH	CO <sub>2</sub> свобод- ный, мг/л	H <sub>2</sub> S мг/л	T°,C	Солевой состав
428	128	7,0	15,8	0,034	2,4	$M_{1,2} \frac{HCO_3^{3-} SO_4^{4-}}{89 \quad 9} Na_{64} Mg_{24} Ca_{12}$
427	50	7,5	22,0	Не опре- делен	-	$M_{1,1} \frac{HCO_3^{3-}}{97} Na_{83} Mg_{13}$
524	144	8,0	4,4	0,034	2,5	$M_{0,9} \frac{HCO_3^{3-}}{93} Na_{91}$
535	50	7,5	22,0	0,01	0,5	$M_{0,8} \frac{HCO_3^{3-}}{95,6} Na_{72} Mg_{23}$
397	150	8,2	3,7	Следы	3,5	$M_{0,5} \frac{HCO_3^{3-}}{95} Na_{93}$
704	47	7,4	26,4	0,051	2,0	$M_{1,0} \frac{HCO_3^{3-}}{98} Na_{56} Mg_{40}$
407	-	7,4	15,8	0,026	3,0	$M_{0,49} \frac{HCO_3^{3-} SO_4^{4-}}{83 \quad 14} Na_{66} Ca_{23} Mg_{11}$
666	-	7,3	4,4	Не опре- делен	1,8	$M_{0,3} \frac{HCO_3^{3-}}{92} Na_{40} Ca_{35} Mg_{27}$
623	86,0	7,5	39,6	То же	-	$M_{1,1} \frac{HCO_3^{3-} SO_4^{4-}}{88 \quad 10} Na_{99}$

вития рудной минерализации. Выходы минерализованной воды приурочены к тектоническим нарушениям, выполненным, как правило, кварцевыми жилами. Наблюдения показали, что с безрудными тектоническими нарушениями связаны выходы слабоминерализованной или пресной воды. В случае же пересечения таким нарушением рудного тела в воде, циркулирующей по этому нарушению, отмечается присутствие углекислого газа (табл. 5). Из приведенных данных видно, что минерализованная вода рудных участков - гидрокарбонатно-натриевая. Ее минерализация достигает 8,1 г/л. Она имеет кислую реакцию и содержит растворенный углекислый газ до 2,6 г/л.

Минерализованные воды имеют большой напор. Их дебит по скважинам измеряется от 2 до 10 м<sup>3</sup>/ч, а в отдельных случаях достигает 100 м<sup>3</sup>/ч (Южный рудный узел, горизонт 116 м, восточный кваршлаг).

Район Балейских месторождений входит в состав провинции гидрокарбонатных вод, газифицируемых углекислым газом (Н.И. Толстухин). Подземные воды этой провинции по химическому составу приближаются к водам минеральных источников Дарасуна.

Типичная формула вод Дарасуна [5]



Однако подземные минеральные воды Балейской депрессии отличаются от углекислых вод дарасунского типа



Как видно из формулы (3), эта вода близка по составу к водам минерального источника Боржоми [6]



Незначительное содержание в минеральной воде Балейского грабена хлоридов натрия по сравнению с водами Боржоми при общем сходстве химического состава позволило Н.И. Толстухину отнести подземные воды Балейской депрессии к гидрокарбонатным натриевым, гидрокарбонатным кальциево-магниевым-натриевым, (сульфатно) гидрокарбонатным (магниевым-кальциевым) натриевым, выделив их в балейский тип минеральной углекислой воды [5, 7].

Формирование гидрокарбонатно-натриевых вод песчанико-конгломератовых отложений, выполняющих Балейский грабен, различными авторами объясняется по-разному. По мнению В.Н. Новик-Качана, гидрокарбонатно-натриевые воды депрессии - первичные, формирование ко-

Таблица 5

## Химический состав подземных вод рудных участков

Водопункт	pH	T°,C	Солевой состав
Северный рудный узел Горизонт 8, кваршлаг № 6, восстановленная шахта №2, кварцевая жила № 65	6,8	5,5	$\text{CO}_2^{0,9} \text{M}_{5,4} \frac{\text{HCO}_3^{90} \text{Cl}_{6,8}}{(\text{Na}+\text{K})_{89} \text{Mg}_6 \text{Ca}_5}$
Горизонт 9, кваршлаг № 3	6,8	6,5	$\text{CO}_2^{1,85} \text{M}_{7,23} \frac{\text{HCO}_3^{98}}{(\text{Na}+\text{K})_{77} \text{Ca}_{13} \text{Mg}_{10}}$
Горизонт 9, кваршлаг № 3, скв. 72	-	-	$\text{CO}_2^{2,4} \text{M}_{7,7} \frac{\text{HCO}_3^{98}}{\text{Na}_{77} \text{Mg}_{11} \text{Ca}_{11}}$
Южный рудный узел Горизонт 216 м, штрек по жиле № 28 - северная, раз- лом 1 на пересечении с жилой № 28	6,2	5,0	$\text{CO}_2^{0,84} \text{M}_{1,3} \frac{\text{HCO}_3^{89} \text{SO}_4^{10}}{\text{Na}_{67} \text{Ca}_{18} \text{Mg}_{15}}$
Горизонт 216 м, штрек по жиле № 28 - юг, песчаники висячем боку жилы	6,4	5,6	$\text{CO}_2^{2,14} \text{M}_{4,54} \frac{\text{HCO}_3^{98}}{\text{Na}_{49} \text{Mg}_{26} \text{Ca}_{25}}$
Горизонт 266 м, восстаю- щий штрек по жиле № 1	6,0	-	$\text{CO}_2^{0,7} \text{M}_{1,8} \frac{\text{HCO}_3^{91}}{\text{Na}_{81} \text{Ca}_{10} \text{Mg}_9}$
Горизонт 266 м, жила № 7 (в лежащем боку жилы)	6,7	-	$\text{CO}_2^{1,5} \text{M}_{8,1} \frac{\text{HCO}_3^{91}}{\text{Na}_{47} \text{Mg}_{28} \text{Ca}_{25}}$
Горизонт 316 м, кварцевая жила (в песчаном конгломе- ратных отложениях)	6,4	6,0	$\text{CO}_2^{2,4} \text{M}_{6,8} \frac{\text{HCO}_3^{98}}{\text{Na}_{49} \text{Mg}_{36} \text{Ca}_{15}}$

Таблица 6

Химический состав водных вытяжек  
некоторых образцов пород\*

№ пробы	Место отбора пробы, наименование породы	Ион	Содержание ионов			Солевой состав
			мг/л	мг-экв/л	%мг-экв	
1235	Скв. 937, глубина 117,3 м, конгломерат	Cl'	13,4	0,38	21,23	M <sub>0,13</sub> $\frac{\text{HCO}_3^3 \text{ Cl}_{21} \text{ SO}_4^4}{\text{Ca}_{64} \text{ Mg}_{22} \text{ Na}_{14}}$
		SO <sub>4</sub> <sup>''</sup>	10,3	0,21	11,70	
		HCO <sub>3</sub> <sup>'</sup>	73,2	1,20	67,04	
		Ca <sup>..</sup>	23,0	1,15	64,24	
		Mg <sup>..</sup>	4,8	0,39	21,79	
		K'+Na	5,6	0,25	13,90	
14-К	Юго-западный рудный узел, горизонт 107 м, кварц	Cl'	6,7	0,19	7,79	M <sub>0,2</sub> $\frac{\text{HCO}_3^3 \text{ SO}_4^4 \text{ Cl}_8}{\text{Ca}_{70}(\text{K}+\text{Na})_{24} \text{ Mg}_5}$
		SO <sub>4</sub> <sup>''</sup>	21,8	0,45	18,14	
		HCO <sub>3</sub> <sup>'</sup>	109,8	1,80	73,77	
		Ca <sup>..</sup>	34,4	1,72	70,50	
		Mg <sup>..</sup>	1,5	0,12	4,91	
		K'+Na	14,9	0,60	24,59	
205	Южный рудный узел, горизонт 316 м, жила № 1-север, конгломерат	Cl'	53,7	1,51	41,48	M <sub>0,26</sub> $\frac{\text{HCO}_3^3 \text{ Cl}_{41}}{\text{Na}_{77} \text{ Ca}_{16}}$
		SO <sub>4</sub> <sup>''</sup>	16,0	0,33	9,07	
		HCO <sub>3</sub> <sup>'</sup>	109,8	1,80	49,45	
		Ca <sup>..</sup>	11,5	0,57	15,66	
		Mg <sup>..</sup>	3,3	0,27	7,42	
		K'+Na	64,5	2,90	76,92	
29	Скв. 1038, глубина 170,9 м, тонкозернистый алевролит	Cl'	33,6	0,86	27,22	M <sub>0,25</sub> $\frac{\text{HCO}_3^3 \text{ Cl}_{27} \text{ SO}_4^4}{\text{Na}_{64} \text{ Mg}_{19} \text{ Ca}_{16}}$
		SO <sub>4</sub> <sup>''</sup>	35,4	0,74	21,20	
		HCO <sub>3</sub> <sup>'</sup>	109,8	1,80	51,38	
		Ca <sup>..</sup>	11,5	0,57	16,33	
		Mg <sup>..</sup>	8,3	0,68	19,48	
		K'+Na	51,5	2,24	64,19	
255	Скв. 1038, глубина 393,4 м, трещиноватый порфирит	Cl'	6,7	0,33	12,94	M <sub>0,18</sub> $\frac{\text{HCO}_3^3 \text{ SO}_4^4 \text{ Cl}_{13}}{\text{Na}_{59} \text{ Mg}_{24} \text{ Ca}_{17}}$
		SO <sub>4</sub> <sup>''</sup>	29,6	0,62	24,31	
		HCO <sub>3</sub> <sup>'</sup>	27,6	1,60	62,75	
		Ca <sup>..</sup>	8,6	0,43	16,86	
		Mg <sup>..</sup>	7,4	0,61	23,82	
		K'+Na	34,7	1,15	59,22	

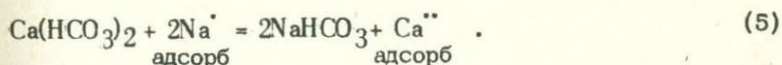
\* Исследования проведены МГРИ.

Таблица 7

Содержание катиона натрия в подземных водах

№ сква- жины	Глубина вскрытия водоносной струк- туры, м	Общая минерали- зация подземных вод, г/л	Содержание натрия, % мг-экв
407	30	0,32	42
704	47	0,60	45
674	73	0,35	62
427	140	0,65	93

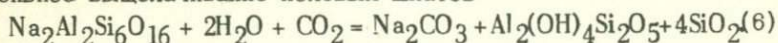
горых происходило под влиянием рудообразующих процессов и пострудных проявлений гидротермальной деятельности. Однако нам представляется, учитывая геологическое строение, химический состав и динамику подземных вод Балецкого грабена, что условия их формирования можно объяснить следующим образом. Инфильтрационные воды, проникая по тектоническим нарушениям в горные породы, перемещаются и, взаимодействуя с ними, растворяют и выщелачивают содержащиеся в них соли. В результате метаморфизации первичных гидрокарбонатно-кальциевых вод хребтов и замены катиона кальция на катион натрия произошло образование содовых вод в глубокой зоне застойного режима в пределах Балецкого грабена



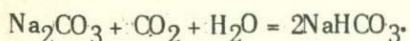
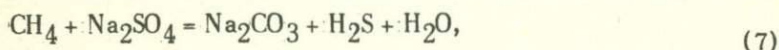
Наши опыты по выщелачиванию горных пород района исследований, результаты которых сведены в табл. 6, подтверждают вышесказанное. Как показывают данные, из пород, отобранных с глубин 107–117 м (проба № 1235; 14–К), водные вытяжки имеют минерализацию, характерную для подземных вод гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава, и незначительное содержание иона натрия, достигающее 14–24% мг-экв. В водных же вытяжках из образцов пород, отобранных с более глубоких горизонтов (170–393 м, пробы № 29, 205, 255), значения минерализации и содержания иона натрия увеличиваются, что характерно для содовых вод депрессии. Увеличение содержания катиона натрия в подземных водах грабена, их минерализации и повышение температуры с глубиной (табл. 7) также указывают на глубокую зону с незначительной скоростью циркуляции подземных вод, где в результате катионного обмена происходит формирование содовых вод депрессии.

<sup>1</sup> В результате проведенных местными гидрогеологами режимных наблюдений в рудниках, колодцах и по отдельным скважинам была отмечена прямая связь во времени уровней и дебита подземных вод от количества атмосферных осадков.

Процесс выщелачивания происходит более интенсивно при насыщении подземных вод углекислым газом, мигрирующим с глубины [4, 8]. Там, где подземные воды грабена циркулируют по тектоническим нарушениям (открытым), являющимся одновременно и путями миграции глубинного углекислого газа, происходит формирование высокоминерализованных углекислых вод, выходы которых, как уже было отмечено выше, приурочены к тектоническим нарушениям на участках сосредоточенного развития рудной минерализации. Вдоль этих же трещинных структур отмечается широкое развитие зон каолинизации, указывающих на протекающее здесь под влиянием углекислого газа интенсивное выщелачивание полевых шпатов



Образование части содовых вод БалеЙского грабена может быть связано также с процессами восстановления сульфатов метаном осадочных пород. Этот процесс выражается в виде следующей реакции [9]:



Значительные количества глубинного углекислого газа, поступающие в пределы БалеЙского грабена, закрытый характер последнего с существующей в нем восстановительной обстановкой, а также значительное содержание в осадочных породах органического вещества — все это в значительной степени способствовало протеканию процесса десульфуризации.

Указанием на развитие процесса десульфуризации в песчанико-конгломератовых отложениях БалеЙского грабена кроме наличия десульфуризирующих микроорганизмов (этими данными мы не располагаем) могут служить следующие косвенные признаки: незначительные концентрации метана в подземных водах и осадочной толще при относительно высоком содержании в последней органического вещества, а также наличие сероводорода и пониженных значений сульфатов в слабоминерализованных трещинных гидрокарбонатно-натриевых водах депрессии.

Наличие среднегодовых отрицательных температур, небольшая мощность снежного покрова, слабая водопроницаемость горных пород — факторы, способствующие сохранению многолетней мерзлоты в районе исследований. Приводимая ниже краткая характеристика многолетней мерзлоты дается по данным термических наблюдений, проведенных Гипроцветметпроектом (Гипрозолото), мерзлотной станцией и гидрогеологической партией комбината БалеЙзолото.

<sup>1</sup> Анализы выполнены ЦНИГРИ.

	№ пробы	$C_{\text{орг}}, \%$
Цемент конгломерата . . . . .	1148	0,68
Окварцованная порода (контакт кварцевой жилы и вмещающей породы). . . . .	2511	0,19
Темная окварцованная порода вдоль жилы . . . . .	1317	0,65
На контакте с жилой . . . . .	1338	0,39
То же, юго-западный участок, 107 м . . . . .	2087	0,30
Темная порода мало окварцованная . . . . .	2087 <sup>б</sup>	0,10
Песчаник на контакте с жилой . . . . .	1356 <sup>б</sup> -Т	0,63
Песчаник с органикой, далеко от жилы . . . . .	2917-Т	0,75
Темная окварцованная порода (контакт с кварцевой жилой) . . . . .	3234-Т	0,65
Серый песчаник (у контакта) . . . . .	3216-Т	0,46
Порода на контакте с жилой . . . . .	2029-Т	0,43
Порода на контакте с жилой . . . . .	6965-К	0,19
То же, жила № 1, горизонт 316 м . . . . .	1425-Т	0,61
Серый цемент гранодиоритовой брекчии . . . . .	1589 <sup>а</sup> -Т	1,39
Цемент конгломерата . . . . .	1147-Т	0,69
Темный цемент дресвяников . . . . .	1588-Т	0,18
Среднее значение $C_{\text{орг}}$ . . . . .		0,5

Многолетняя мерзлота в пределах Балейского грабена, как и во всем Восточном Забайкалье, является островной и относится к долинному типу. По правобережью реки многолетняя мерзлота распространяется главным образом на участке террасы, занятой строениями города Балей. В северной части террасы она распространена сплошным массивом, в южной - лишь отдельными островами. По северным и северо-западным окраинам г.Балей многолетняя мерзлота отсутствует. Мерзлотой охвачены также отложения "серой толши" на северо-западе Балейской депрессии. В подрусловых и прирусловых частях долин мерзлота обычно отсутствует или встречается в виде отдельных островов небольшой мощности. Подрусловый талик реки прослеживается по всей пойме шириной 0,3-2,0 км. Левобережные надпойменные террасы отличаются сплошным развитием многолетней мерзлоты.

Мощность многолетней мерзлоты в районе исследований достигает 20–25 м (при средней – 16 м), а в отдельных местах – до 40 м. Верхняя граница мерзлоты находится на глубине 3–5 м. Наиболее глубокое ее залегание (до 10 и даже 25 м) приурочено к участкам, сложенным главным образом песчано-галечным материалом, обладающим повышенными фильтрационными свойствами, что имеет место на многих участках, прилегающих к пойме реки.

На террасах, где широко распространены суглинистые отложения, граница многолетней мерзлоты подходит близко к поверхности. Зимой, когда верхняя часть рыхлых отложений сковывается сезонной мерзлотой сечение подземного потока на отдельных участках сужается, в результате чего подземные воды поступают со склонов и верхней части долины со значительным напором, достаточным для преодоления слоя сезонной мерзлоты (наледи в падах).

Мерзлота ухудшает как условия питания, так и условия разгрузки подземных вод. Свободные от мерзлоты участки являются основными путями питания подземных вод за счет атмосферных осадков.

### ВЫБОР ОБЪЕКТОВ И ЦЕЛЕВАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ РАБОТ

В соответствии с поставленной задачей изучение газоносности Балейских золоторудных месторождений проводилось следующим образом. Одновременно со сбором уже имеющихся в комбинате Балейзолотоматериалов по содержанию газов в рудничной атмосфере горных выработок, по геологии и гидрогеологии месторождений проводились детальные исследования газоносности. Эти исследования заключались в определении качественного и количественного состава свободных газовыделений, рудничной атмосферы, газов, растворенных в подземных водах, промывочной жидкости скважин и горных пород, а также в изучении некоторых физико-химических свойств пород. Соответственно выбрана и методика лабораторного исследования газоносности месторождений.

Основными объектами исследований газоносности являлись рудники Северного, Южного и Юго-Западного рудных узлов и разведочные участки южной, юго-западной, северо-западной и северной периферии изучаемой площади. По горизонтам рудников изучались рудничный воздух, свободные газопроявления, растворенные в минерализованных трещинно-жильных водах газы, а также отбирались образцы рудоносных жил и вмещающих пород для установления химического состава заключенного в них газа.

На исследуемых разведочных участках для получения данных изменения газоносности с глубиной проводился точечный газовый каротаж по разведочным скважинам. Скважины (из бурившихся в период полевых исследований) выбирались с таким расчетом, чтобы были опробованы на газоносность образцы горных пород различного петрографического состава. Из разведочных скважин одновременно с отбором пород на дегазацию с соответствующих глубин производился отбор проб промывочной жидкости для определения содержащегося в ней газа. Газовый каротаж был проведен по следующим скважинам: 918, 919, 924, 923, 928, 907, 925, 926, 1037, 1038 и др. — Южный участок; 946, 947, 950, 949, 948, 951 — Северо-Западный участок; 937, 941 — Юго-Западный участок; 1002 и др. — Северный участок.

В процессе исследовательских работ были опробованы самоизливающиеся скважины (юго-восток депрессии, скважины 429, 704 и др.) и некоторые источники. Кроме того, были проведены специальные исследования с целью выяснения коллекторских свойств пород (пористости, газопроницаемости), для чего отбирались образцы пород из скважин и горизонтов рудников.

## МЕТОДИКА ОПРОБОВАНИЯ

Условия и порядок взятия пробы, объем и вид образцов, их упаковка, хранение и транспортировка в лабораторию определялись в каждом отдельном случае характером и порядком предстоящих лабораторных исследований: а) пробы свободно выделяющегося газа для анализа отбирались в стеклянные бутыли емкостью 0,5–0,8 л путем вытеснения из них насыщенного солевого раствора. В бутылях оставлялся небольшой гидравлический затвор, что обеспечивало сохранность пробы при транспортировке и хранении в лаборатории; б) для изучения химического состава растворенных природных газов отбирались пробы воды (из естественных источников и самоизливающихся скважин, минеральных источников в рудниках) и промывочной жидкости. Пробы брались в резиновые медицинские грелки емкостью 1,8 л со шлангом на патрубке, вставленном в горлышко грелки. Дегазация этих проб производилась в день их доставки в лабораторию; в) для изучения газов, заключенных в замкнутых изолированных порах, пустотах и микротрещинах горных пород, отбирались пробы пород в стеклянные герметически закрытые резиновой пробкой банки емкостью 250 см<sup>3</sup> (рис. 7). Пробы тщательно упаковывались и отправлялись в стационарную лабораторию.

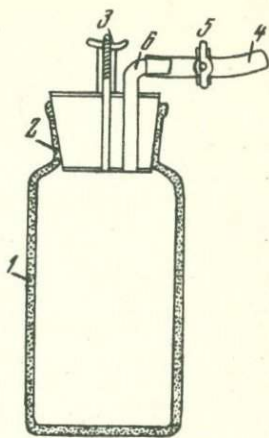


Рис. 7. Схема сосуда для отбора пробы на дегазацию

1 - стеклянный сосуд; 2 - резиновая пробка; 3 - зажим пробки; 4 - резиновая трубка; 5 - винтовой зажим; 6 - металлическая трубка

## МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Методика лабораторных исследований заключалась в извлечении газа из проб воды, промывочной жидкости и горных пород различными дегазационными приборами [10–12] и в анализе газа (свободного и отдегазированного) на газоаналитических приборах системы ВТИ-2. Эти исследования проводились как в полевой газовой лаборатории, так и в стационарной. Контрольные анализы и извлечение газа из проб горных пород, а также анализ извлеченного из этих образцов газа проводились только в стационарной газовой лаборатории.

При извлечении растворенных в воде и промывочной жидкости газов в полевых условиях использовался термовакуумный дегазатор с водяным насосом и со стеклянным сосудом для дегазируемой жидкости, нагреваемой до 40–50° (рис. 8).

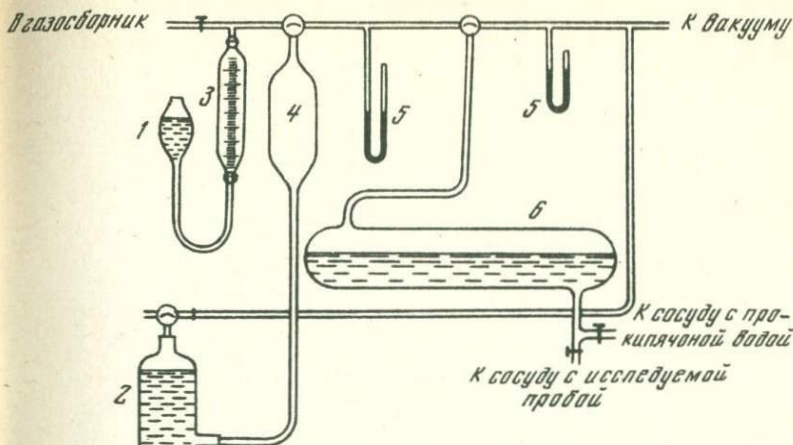


Рис. 8. Схема термовакуумного дегазатора

1 и 2 - напорные сосуды; 3 - градуированная бюретка;  
4 - насос Тейлера; 5 - вакуумметр; 6 - дегазационный сосуд

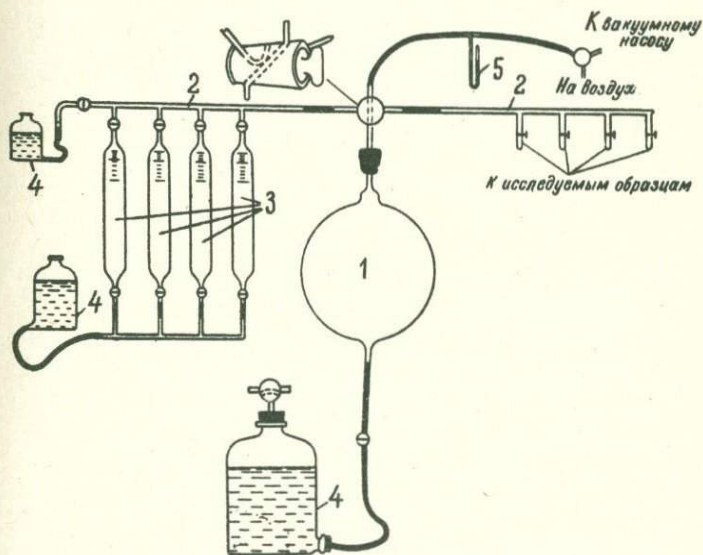


Рис.9. Схема прибора для дегазации образцов пород

1 - воздушно-водяной насос; 2 - гребенка; 3 - измерительная бюретка сборника газа; 4 - напорный сосуд; 5 - вакуумметр

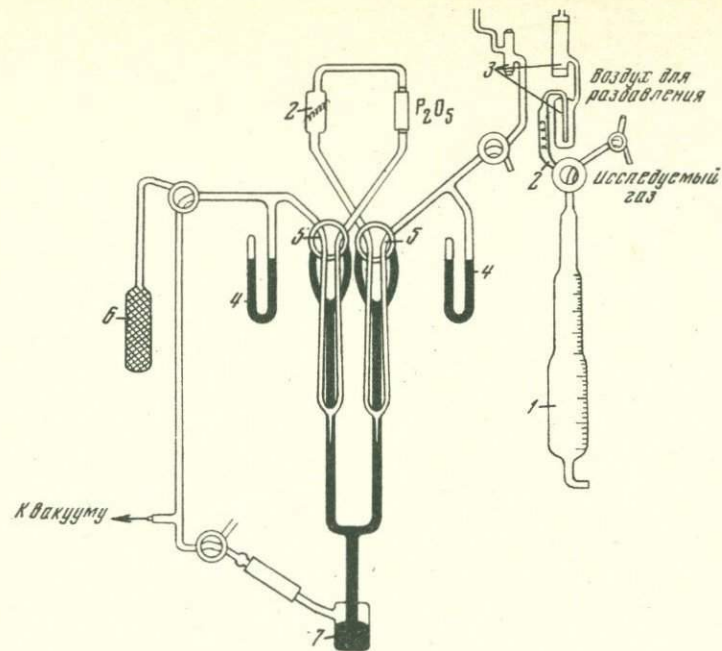


Рис. 10. Схема прибора для анализа редких газов

1 - измерительная бюретка; 2 - поглотители кислых газов; 3 - поглотитель паров воды; 4 - манометр; 5 - измерительная бюретка; 6 - ртутный насос Мак-Леода; 7 - капиллярная измерительная дуга; 8 - поглотительная лампа Флоренского с металлическим кальцием; 9 - баллончики с активированным углем, погруженные в жидкий азот

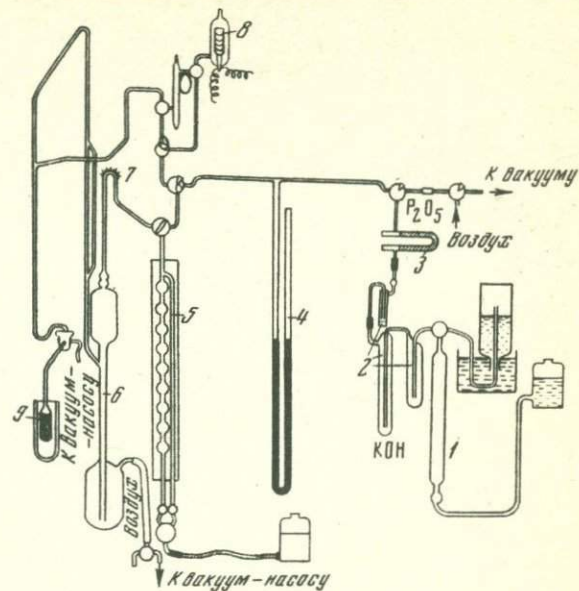


Рис. 11. Схема экспресс-прибора для анализа тяжелых углеводородов и метана

1 - измерительная бюретка; 2 - колонка с платиновой спиралью для сжигания; 3 - система для газоподачи; 4 - ртутный вакуумметр; 5 - конденсационно-измерительные трубки; 6 - баллончик с активированным углем; 7 - ртутный затвор

Дегазация образцов плотных горных пород (кернов) производилась при помощи герметической шаровой вакуумной мельницы конструкции М.М. Элинсон [11]. Измельчение достигалось при вакууме до 0,01 мм рт.ст. до частиц размеров 0,1–0,01 мм и продолжалось 3–5 час в зависимости от крепости породы. Выделившийся из измельченного образца газ перекачивался воздушным насосом в газовую измерительную бюретку и подвергался анализу. Затем определялся вес измельченной породы, необходимый для пересчета газа на абсолютное содержание.

Газ из образцов кернов извлекался не только после их измельчения, но и до дробления на специальной вакуумной дегазационной установке, схема которой показана на рис. 9. Предварительно определив вес каждой из закрытых банок с образцами горных пород, несколько банок одновременно присоединялось к своей измерительной бюретке сборника газа. Для ускорения дегазации банки с образцами помещались в водяную ванну, подогреваемую до 60–80°C. Извлеченный газ, объем которого предварительно измерялся, переводился в емкости для анализа. Эта же дегазационная установка использовалась в полевых условиях для извлечения газа из рыхлых образцов почвы и подпочвы, но без их подогрева во избежание увеличения количества выделяемого газа за счет термического разложения бикарбонатов с образованием углекислого газа.

Общий анализ газа (спонтанного и отдегазированного из проб промывочной жидкости, воды, горных пород, почвы) производился на газоаналитических приборах системы ВТИ-2 [13]. Газоанализатором ВТИ-2 в составе газовой смеси той или иной пробы определялись:

кислые газы (двуокись углерода, сероводород), окись углерода и кислород путем поглощения соответствующими реагентами;

водород путем сжигания над активированной окисью меди при 280–300°C (в кварцевой петле);

метан путем сжигания над платиновой спиралью, накаливаемой до 6 в; негорючий остаток газовой смеси (азот плюс редкие газы), по разности объемов.

Измеренный объем негорючего остатка газовой смеси переводился в прибор (рис. 10), предложенный В.А. Соколовым для производства анализов редких газов [14]. Микроанализ углеводородных газов осуществлялся на низкотемпературном вакуумном приборе (рис. 11), предложенном М.М. Элинсом для экспресс-анализа метана и тяжелых углеводородов методом низкотемпературной дистилляции [15].

Данные анализа всех газовых проб подвергались пересчету для исключения из них кислорода и азота в количествах, соответствующих соотношению их в воздухе.

## Глава 4. ГАЗОНОСНОСТЬ РАЙОНА БАЛЕЙСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

### СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ СВОБОДНЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ И РАСТВОРЕННЫХ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ГРАБЕНА

В результате проведенных наблюдений за газовыделениями на различных горизонтах рудников было установлено, что основная масса природного газа поступает в рудничную атмосферу в виде "сухих" газовых струй или спонтанного газа, выделяющегося из высокоминерализованной воды. В большинстве случаев эти газопроявления приурочены к наиболее молодым крутопадающим нарушениям северо-восточного простирания, выполненным, как правило, кварцевыми рудоносными жилами. В первый момент встречи такой жилы в горной выработке обычно наблюдалось внезапное выделение газа (и минерализованной воды) с максимальным дебитом, который затем незначительно уменьшался, устанавливался до определенного значения и в дальнейшем имел постоянный характер. Среди множества выходов природного газа в горные выработки особенно интенсивные из них наблюдались в период проводимых исследований в районе Третьей рудной зоны рудника Южного рудного узла. Здесь на горизонте 216 м, в 140 м от квершлага № 11, между восстающими № 5-7, из кварцевой жилы № 28-юг, происходило выделение спонтанного газа с дебитом до 0,7 л/сек и минерализованной воды с притоком до 0,2 л/сек. Этот выход газа, как и многие другие, без изменения химического состава и дебита поддерживался в течение четырех лет, пока не был подсечен более глубокой выработкой (скв. 124 на горизонте 248 м). Аналогичная картина наблюдалась и на горизонте 316 м, в штреке по жиле № 28, в 55 м от 4-го восстающего. В подошве выработки с поверхности небольшой лужицы, образованной выходящим здесь минерализованным источником, выделялся под большим давлением спонтанный газ. Точечных источников газа на поверхности "бурлящей" лужи площадью 0,5 м<sup>2</sup> насчитывалось до десяти. Интенсивность отдельных из них достигала 0,8 л/сек.

Выходы природного газа в горные выработки были отмечены также и из тектонических нарушений, не выполненных жильным материалом. В этом случае нарушение обычно или пересекало ту или иную кварцевую жилу, или было пересечено последней. Так, при подсечении штреков по жиле № 28-север (горизонт 216 м) разлома 1, выполненного глинистым материалом, в последнем наблюдалось выделение минерализованной воды и спонтанного газа.

В процессе проводимых исследований по горизонтам рудников было

№ пробы	Место отбора проб	Горизонт, м	Условия выхода скопления газа	Газовый состав, %			Примечание
				CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	
7	Южный рудный узел Штрек кварцевой жилы № 28-север, на 10 м от восточного борта штрека. Подсечен разлом 1	216	Разлом выполнен глинистым материалом	99,0	0,1	0,9	Из разлома наблюдается выход минерализованной воды и газа. До и после разлома выделений минерализованной воды и газа не наблюдается
13	Штрек по жиле № 28-север, в 10 м от кварцшлага № 6-восток	266	Вдоль кварцевой жилы	100,0	0	0	По жиле наблюдается сильный капез минерализованной воды и газа
2126	Штрек по жиле № 28-север, на 57 м, от кварцшлага № 1-запад	266	—"	99,0	0	0,1	То же
2126a	Штрек по жиле № 28-юг, на 110 м от кварцшлага № 1-запад	266	—"	100,0	0	0	В кварцевой жиле из зияющей трещины вытекает минерализованная вода с пузырьками газа
16	Штрек по жиле № 28-юг у 5-го восстающего	266	Из тектонического нарушения в кварцевой жиле	100,0	0	0	С поверхности лужи, образованной выходящей здесь же минерализованной водой, очень сильно выделяется газ

Таблица 8 (продолжение)

№ пробы	Место отбора проб	Горизонт, м	Условия выхода скопления газа	Газовый состав, %			Примечание
				CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	
1	Штрек по жиле № 33, против восстающего № 8, у запад- ной стенки выработки	266	То же	95,9	0,1	4,0	Минерализованная вода и гах выходят из трещиноватой кварце- вой жилы
3	Штрек по жиле № 1 против 4-го восстающего, в 80 м от штрека 8-бис	266	Из тектонического нарушения в квар- цевой жиле	99,9	0,1	0	-
4	Штрек по жиле № 33-север, в 9 м от северного борта квершлага № 1-восток	316	То же	100,0	0	0	Под давлением из жилы выделяется су- хая струя газа. Воды нет
1-94	Зона 1, штрек по жиле № 1-бис	316	—"	100,0	0	0	По жиле - слабый ка- пелж минерализованной воды с выходом газа
4-5	Штрек по жиле № 28 в 30 м от 4-го восстающего	316	—"	99,1	0	0	Из нарушения вытекает минерализованная вода, с поверхности которой периодически выделя- ется газ
8-9	Штрек по жиле № 28 в 55 м от 4-го восстающего	316	—"	100,0	0	0	Очень сильное газовой- деление с поверхности минерализованной воды. Дебит отдельных точеч- ных выходов газа дости- гает 0,8 л/сек
15	Северный рудный узел В 33 м от квершлага № 6	8	Тектоническое нарушение в конгло- мератах	99,1	0,9	0	Из нарушения выде- ляются минерали- зованная вода и газ
152	Штрек по жиле № 3	266	Трещиноватая квар- цевая жила	100,0	0	0	По жиле наблюдается выделение воды и газа
150	Квершлаг № 2-юго-восток, в 140 м от ствола шахты № 4	316	Из тектонического нарушения в мел- когалечных кон- гломератах	100,0	0	0	Из нарушения наб- людается приток ми- нерализованной воды и газа

Примечание. В пробах спонтанного газа водород не был обнаружен.

отмечено, что с глубиной количество выходов спонтанного газа увеличивается, а воды становятся значительно меньше. На руднике Южного рудного узла, на горизонте 316 м, в штреке по жиле № 1-юг, на 14 м от кваршлага № 1-запад наблюдается выход спонтанного газа и слабый капез воды с сильным запахом сероводорода. На горизонте 266 м, в штреке по жиле № 1-север был отмечен только сухой выход газа, без воды; в штреке по жиле № 33-север, в 9 м от северного борта кваршлага № 1-восток, также не было воды. Сухой выход газа был обнаружен по еле слышному шипению из тектонического нарушения, vyplненного трещиноватым кварцем. Подобные явления были зафиксированы также на горизонте 216 м, в штреке по жиле № 1-север и во многих других выработках.

В результате произведенных анализов свободно выделяющегося газа выяснилось, что он почти целиком состоит из углекислого газа (99,9-100%) и лишь в отдельных пробах отмечается незначительное содержание азота и метана (табл. 8).

В обогащенном объеме ( $v = 225 \text{ см}^3$ ) газовой смеси, полученной из 20 л спонтанного газа, который отобран по жиле № 28-юг, в 56 м от 4-го восстающего (Южный рудный узел, горизонта 316 м), было определено 0,8% метана и сотые доли процента водорода. Тяжелые углеводороды не были обнаружены (анализ углеводородной части газовой смеси производился в газоаналитической лаборатории МГРИ на хроматографе типа ГСТЛ-2 и повторный - на газоанализаторе для экспресс-анализа).

Выделение спонтанного газа в подземные выработки достигает значительных количеств, что весьма затрудняет проходку горных работ. Так, содержание углекислого газа в исходящей струе рудника Южного рудного узла достигает  $3 \text{ м}^3/\text{т}$  суточной добычи, а абсолютная газообильность только одной небольшой шахты 4 "слепая" рудника Северного рудного узла составляет  $5400 \text{ м}^3/\text{сутки}$ . Это послужило основанием отнести рудники месторождений к третьей категории по газообильности (М.С. Апакова, 1954 г.)

В результате проведенных исследований состава рудничного воздуха на горизонтах рудников, а также изучения материалов горноспасателей было установлено, что концентрация углекислого газа в рудничной атмосфере составляет 0,1-7%; с глубиной и приближением горных выработок к тектоническим нарушениям (кварцевым жилам) она резко возрастает, достигая 27%.

№ пробы	Содержание $\text{CO}_2$ в пробе, об. %
---------	---

Южный рудный узел

Горизонт 316 м, штрек 1-север, кварцевая жила

87

3,2

	№ пробы	Содержание CO <sub>2</sub> в пробе, об. %
Горизонт 316 м, штрек 1-север, в 15 м от предыдущей точки	88	2,4
Горизонт 316 м, штрек 1-север, в 50 м от точки отбора пробы № 87	89	0,1
Горизонт 316 м, шахта № 2 "слепая" (лоб забоя), кварцевая жила № 1	114	5,0
Горизонт 316 м, шахта № 2 "слепая" по жиле № 1 (середина выработки)	115	2,3
То же, буровая камера	116	1,5
Горизонт 316 м, штрек по кварцевой жиле № 28 (лоб забоя)	130	2,5
То же, от предыдущей точки на запад, м	129	
в 50 . . . . .		1,2
в 100 . . . . .		1,0
в 150 . . . . .		1,0
в 200 . . . . .		0,8
в 240 . . . . .		0,4
в 250 . . . . .		0,2
Горизонт 316 м, штрек 1-север, лоб забоя	188	12,7
То же, в 20 м от предыдущей точки	189	14,5
То же, в 50 м от точки отбора пробы № 188, кварцевая жила . . . . .	190	16,5-27,0
Горизонт 266 м, блок 16	74	0,1
Горизонт 266 м, квершлаг на жилу № 27 (тектоническое нарушение) . . . . .	75	5,6
<u>Северный рудный узел</u>		
Горизонт 316 м, штрек по жиле № 4 (тектоническое нарушение) . . . . .	4	3,0
То же, в нескольких метрах от точки отбора пробы № 4 . . . . .	5	2,9

Особенно наглядно представлено это данными анализов проб рудничного воздуха, отобранных у устьев горизонтальных подземных скважин, подсекавших кварцевые жилы (табл. 9).

## Характеристика проб

№ пробы	Место отбора пробы рудничного воздуха	Газовый состав, %	
		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
<u>Южный рудный узел</u>			
1204	Горизонтальная скв. 98. Горизонт 216 м, квершлаг № 2. Проба отобрана у устья скважины в момент подсечения ею кварцевой жилы . . . . .	87,8	1,1
1215	То же, через сутки . . . . .	80,0	2,0
	То же, через сутки после подсечения жилы, в 10 см над устьем скв. 98 . . .	50,0	8,0
	То же, через сутки, в 50 см от устья скв. 98 . . . . .	17,0	19,4
4647	Горизонт 266 м, штрек по жиле № 1-север (лоб забоя). Проба воздуха из устья скважины при подсечении ею кварцевой жилы . . . . .	65,0	8,0
8902	Горизонт 266 м. Горизонтальная скважина в сторону кварцевой жилы № 28-юг. Проба воздуха из устья скважины . . . . .	50,0	4,0
	То же, через двое суток . . . . .	50,0	4,3
	То же, еще через сутки . . . . .	35,0	8,1

Сопоставление средних значений CO<sub>2</sub> в рудничном воздухе квершлага № 1 (Южный рудный узел) на различных глубинах позволило обнаружить увеличение содержаний концентраций газа в атмосфере выработок с глубиной.

Горизонт, м . . . . .	126	166	216
Содержание CO <sub>2</sub> ,% . . .	0,67	1,10	2,80

В плохо проветриваемых забоях, удаленных от свежей струи искусственно подаваемого воздуха, содержание углекислого газа в рудничной атмосфере постоянно бывает выше концентраций, допускаемых "Едиными правилами техники безопасности". В рудничном воздухе помимо углекислого газа, составляющего основную массу газовой смеси были обнаружены также азот (15-67% даже 85,3%), метан (0-4,6%), водород (до 4%, а в отдельных случаях до 19%) (табл. 10). Углекис-

## Данные анализов рудничного воздуха

№ про- бы	Место отбора пробы	Газовый состав, %					Газовый состав (без O <sub>2</sub> и N <sub>2</sub> воздуха), %				Примечание
		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	
3001	Северный рудный узел, двор шахты № 7, глуби- на 170 м	1,4	20,0	0	0	78,6	34,8	0	0	65,2	Все пробы руднич- ного воздуха отбирались в стек- лянные бутылки емкостью 0,5 л
373	Южный рудный узел										
(19)	Жила № 28-юг, горизонт 266 м	1,0	21,0	0	Следы	78,0	100,0	0	Следы	0	
369 (28)	Шахта № 2 "слепая", вос- стающий горизонт, 316 м	0,2	20,6	0	0	79,2	14,7	0	0	85,3	
370 (22)	Шахта № 2 "слепая", квершлаг западный, гори- зонт 316	0,4	20,6	0	0,2	78,8	95,6	0	4,4	0	
144	Штрек по жиле № 1 - се- вер, горизонт 316 м	2,4	19,6	0,2	0,2	77,6	40,6	3,1	3,1	53,2	Проба отобрана через 30 мин после отпала

Таблица 10 (окончание)

№ про- бы	Место отбора пробы	Газовый состав, %					Газовый состав (без O <sub>2</sub> и N <sub>2</sub> воздуха), %				Примечание
		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	
145	То же	3,0	20,0	0	0,1	76,9	96,6	0	3,4	0	То же, 45 мин
146	—	3,4	20,0	0	0	76,6	84,9	0	0	15,1	— 50 мин
147	Штрек по жиле № 23, горизонт 316 м	2,0	20,0	0,2	0	77,8	50,0	4,6	0	45,4	— 15 мин
148	Штрек по жиле № 23, горизонт 316 м	1,4	20,0	0	0,2	78,4	34,9	0	4,6	60,5	Проба отобрана через 30 мин после отпала
149	То же	1,4	20,0	0	0	78,6	34,9	0	0	65,1	То же 45 мин
184	Углубка шахты № 8, горизонт 316 м	0,3	20,4	0,4	0	78,9	14,0	19,0	0	67,0	Свежая выработка

Примечание. В пробах рудничного воздуха окиси углерода не обнаружено.

## Содержание газа в высокоминерализованных водах рудных участков

№ пробы	Место отбора пробы	Глубина отбора, горизонт, м	Газовый состав (без O <sub>2</sub> и N <sub>2</sub> воздуха), см <sup>3</sup> /л				Солевой состав
			CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> +р.г.	H <sub>2</sub> S	
<u>Южный рудный узел</u>							
14	У восстающего № 4, в 40 м от квершлага № 1-запад (источник каптирован)	266	652,4	0	6,6	-	-
2114	Штрек по жиле № 28, в 110 м от квершлага № 1	266	219	3	7,0	-	CO <sub>2</sub> $\frac{HCO_3^3 SO_4^4}{Na_{67} Ca_{17} Mg_{16}}$ 0,84 М 1,3
11-12	Штрек по жиле № 28, по магистральному квершлагу № 1, в 100 м от центральной подстанции (источник каптирован)	216	725,6	0	0	-	CO <sub>2</sub> $\frac{HCO_3^3}{Na_{49} Mg_{36} Ca_{15}}$ 2,4 М 6,8
2130	Штрек по жиле № 33, восстающий № 2	316	1266,9	4,1	49,6	Запах	CO <sub>2</sub> $\frac{HCO_3^3}{Na_{47} Mg_{28} Ca_{25}}$ 1,5 М 8,1
5-6	Штрек по жиле № 28, в 55 м от 4-го восстающего	316	1283,5	0	0	-	-

Таблица 11 (окончание)

№ пробы	Место отбора пробы	Глубина отбора, горизонт, м	Газовый состав (без O <sub>2</sub> и N <sub>2</sub> воздуха), см <sup>3</sup> /л				Солевой состав
			CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> +P.Г.	H <sub>2</sub> S	
1-2	Штрек по жиле № 28, в 30 м от 4-го восстающего <u>Северный рудный узел</u>	316	1045,3	0	0	Запах	-
283	Квершлаг № 2, юго-восток (середина)	316	681,8	Следы	17,1	-"	CO <sub>2</sub> <sup>1,85</sup> M <sub>7,3</sub> $\frac{HCO_3^3}{(Na+K)_{79}Ca_{11}Mg_{10}}$
284	Квершлаг № 1-запад (середина)	316	272,6	-"	22,2	-"	CO <sub>2</sub> <sup>2,4</sup> M <sub>7,9</sub> $\frac{HCO_3^3}{Na_{78}Ca_{17}Mg_{13}}$

Примечание. В пробах высокоминерализованных вод водорода не обнаружено.

дый газ является основным компонентом и в составе газов, растворенных в высокоминерализованных водах месторождений (99-100%); его содержания в пробах достигают 1283,5 см<sup>3</sup>/л (табл. 11). Помимо углекислого газа в этих водах также обнаружены незначительные количества азота (6 см<sup>3</sup>/л, в единичных случаях до 49,6 см<sup>3</sup>/л) и следы метана, достигающие иногда 3-4 см<sup>3</sup>/л.

Интенсивное выделение спонтанного CO<sub>2</sub> из высокоминерализованных трещинно-жильных вод свидетельствует о повышении газонасыщенности последних на глубине. Эта закономерность отмечена даже на относительно неглубоких горизонтах горных выработок, где были проведены режимные наблюдения (примитивным способом) за некоторыми каптированными выходами минеральных вод для изучения возможных месячных колебаний содержания в них углекислого газа. Результаты определения концентраций CO<sub>2</sub> в минерализованных водах рудников в разное время года сведены в табл. 12. Как видно из приведенных данных, содержание CO<sub>2</sub> в минерализованной воде источников штрека по кварцевой жиле № 28 Южного рудного узла увеличивается с глубиной и почти не изменяется для каждого из исследуемых источников в разные месяцы года.

Однотипность состава спонтанного и растворенного в высокоминерализованных водах газа позволяет сделать заключение о наличии одного питающего их источника. А приуроченность выходов газа и

Таблица 12

Содержание углекислого газа в высокоминерализованных водах в разное время года, см<sup>3</sup>/л

Место выхода минерализованной воды	Месяц						№ пробы
	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
	1958 г.						
Магистральный квершлаг (источник каптирован), горизонт 216 м	730,6	750,3	725,6	680,0	500,7	550,5	11-12
	1959 г.						
У 4-го восстающего (источник каптирован), горизонт 266 м	700,4	725,5	701,9	699,0	700	652,4	14
	1961 г.						
У 4-го восстающего, горизонт 316 м	-	-	1283,5	1279,3	1268,9	-	5-6

## Содержание газа в грунтовых и трещинных водах

№ проб.	Место отбора пробы	Порода	Газовый состав (без O <sub>2</sub> и N <sub>2</sub> воздуха), см <sup>3</sup> /л					Водоносный горизонт	Солевой состав
			CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S		
1555	Северо-западная периферия грабена, в р-не скв. 948, источник	Рыхлые четвертичные отложения	1,3	0,08	0,08	16,54	0	Грунтовые воды рыхлых отложений	M <sub>0,1</sub> $\frac{HCO_3^3 Cl_{13} SO_4^{10}}{Ca_{53} Mg_{26} Na_{21}}$
1740	Северная окраина г.Балея	То же	0,8	0,4	0	12,3	0	То же	CO <sub>2</sub> <sup>0,02</sup> M <sub>0,1</sub> $\frac{HCO_3^3 SO_4^{14}}{Ca_{52} Mg_{46}}$
1	г.Балей, колодец № 1	То же, проловий	0,13	0	0	1,6	0	---	M <sub>0,1</sub> $\frac{HCO_3^3 Cl_{35}}{Ca_{50} Na_{35} Mg_{15}}$
17	Северная окраина депрессии, скв. 877	Верхнепалеозойский гранитоид, глубина 30 м	4,2	3,0	0	41,0	0	Трещинные воды гранитов (дебит 1,6 л/сек)	M <sub>0,4</sub> $\frac{HCO_3^3 Cl_{23}}{Na_{41} Ca_{35} Mg_{27}}$
6	Юго-Восточный участок, скв. 360	Верхнеюрский-нижнемеловой конгломерат, глубина 132 м	2,6	Следы	0	31,0	0,4	Подземные трещинные воды осадочных пород, выполняющих грабен	M <sub>0,5</sub> $\frac{HCO_3^3 Cl_{18}}{Na_{78} Mg_{14} Ca_{11}}$
5	Юго-Восточный участок, скв. 535	То же, 50 м	2,0	0	0	10,5	0,2	То же	CO <sub>2</sub> <sup>0,02</sup> M <sub>0,8</sub> $\frac{HCO_3^3}{Na_{72} Mg_{23}}$
16	Северный рудный узел, кваршлаг № 31, горизонт 8	То же, 216 м	3,3	Следы	0	6,5	0,2	---	CO <sub>2</sub> <sup>0,02</sup> M <sub>1,2</sub> $\frac{HCO_3^3}{Na_{79,6} Ca_{15,2}}$
6 <sup>а</sup>	Южный рудный узел, штрек по жиле № 28, против блока № 7	То же, 216 м	6,0	---	0	8,6	Запах	---	M <sub>0,9</sub> $\frac{HCO_3^3}{Na_{91}}$
2	Южный рудный узел, противвосстающего № 8	То же, 260 м	6,7	0	0	34,3	Запах	Подземные трещинные воды осадочных пород, выполняющих грабен	-
306	Скв. 962	Верхнеюрский-нижнемеловой песчаник с обуглившимися растительными остатками, глубина 80 м	6,3	0,2	0,3	43,7	-	То же	M <sub>1,0</sub> $\frac{HCO_3^3}{Na_{56} Mg_{40}}$

углекислых вод к одним и тем же тектоническим (обычно рудоносным) нарушениям свидетельствует об единых путях их движения.

Для изучения растворенных газов в слабоминерализованных грунтовых и трещинных водах Балеической депрессии было проведено водногазовое опробование некоторых самоизливающихся скважин, колодцев и источников. Результаты анализа газа, растворенного в этих водах, сведены в табл. 13.

Природные газы, растворенные в слабоминерализованных водах грабена, имеют в основном азотный состав. Содержание азота в них изменяется в пределах от 1 до 43 см<sup>3</sup>/л. Углекислый газ растворен в незначительных количествах (0,8–1,3 см<sup>3</sup>/л), увеличивающихся с глубиной до 6,7 см<sup>3</sup>/л. Присутствие водорода и метана отмечено лишь в единичных случаях соответственно 0,3 и 0,2–3 см<sup>3</sup>/л. Характерно присутствие в них сероводорода в количествах 0,2–2 см<sup>3</sup>/л.

Газовый состав слабоминерализованных вод грабена указывает на поступление в них газов из иного источника (по сравнению с высокоминерализованными углекислыми водами).

## ГАЗСОДЕРЖАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Газосодержание горных пород Балеического грабена по геологическому разрезу изучалось методом точечного газового каротажа. Сущность этого метода заключается в отборе с разных горизонтов разведочных скважин (при их бурении) глинистого раствора и кернов и последующем определении в них газов. Как известно, картаж по керну позволяет изучить состав газов, главным образом заключенных в самой породе [10, 16, 17]. Каротажом по глинистому раствору фиксируются газы (свободные), попавшие в жидкость из перебуренной породы, ее пор, каверн и трещин. Проведение газового каротажа по промывочной жидкости и керну дает возможность получить полную характеристику газосодержания перебуриваемых пород. Ниже приводятся значения содержаний газов в промывочной жидкости и керне, полученные при проведении газового каротажа некоторых скважин южной, юго-западной и северо-западной периферий исследуемой площади.

В результате дегазации проб глинистого раствора перебуриваемых скважин и последующего анализа извлеченной газовой смеси было установлено, что в ней присутствуют азот, углекислый газ, водород и метан. Среди перечисленных газовых компонентов преобладает азот, среднее содержание которого достигает 30–40 см<sup>3</sup> на литр промывочной жидкости. Иногда концентрация азота в пробах глинистого раствора отличается повышенными значениями, достигающими более 100 см<sup>3</sup>/л. При рассмотрении данных газового каротажа разведочных скважин по промывочной жидкости не обнаружено какой-либо закономерности изменения количества азота с глубиной, а также в зависимости от литологического состава перебуриваемых пород.

В распределении углекислого газа, водорода и метана в промысловой жидкости выявились следующие особенности. При каротаже трещиноватых ундинских градитоидов, подстилающих нормальные осадочные породы депрессии, в газовой смеси глинистого раствора перечисленные выше газовые компоненты были обнаружены в незначительных количествах. Средние концентрации углекислого газа и водорода 2,6–2,9 см<sup>3</sup> на литр промысловой жидкости. Метан имеет подчиненное значение (до 0,9 см<sup>3</sup>/л), только в редких случаях его концентрация повышается до 8–13,3 см<sup>3</sup>/л. При пересечении каротируемые скважинами толщи конгломератов концентрации углекислого газа, водорода и метана в части проб глинистого раствора почти не отличались от их содержания в растворе при каротаже ундинских градиентов. В большинстве же случаев наблюдалось некоторое увеличение значений перечисленных газовых компонентов: углекислого газа до 18 см<sup>3</sup>/л, водорода до 24 см<sup>3</sup>/л и метана до 4 см<sup>3</sup>/л.

Повышение концентраций углекислого газа до 20–50 см<sup>3</sup>/л, водорода до 20–30 см<sup>3</sup>/л и метана до 2–4 см<sup>3</sup>/л в газовой смеси глинистого раствора отмечено также при проходке песчаников и алевролитов балейской свиты. В отдельных случаях значения горючих газовых компонентов достигают еще больших величин: водорода до 100 см<sup>3</sup>/л, метана до 13 см<sup>3</sup>/л.

Как и следовало ожидать, резкое увеличение газосодержания глинистого раствора отмечалось при перебурировании различных трещиноватых пород разреза. А в случаях, когда перебуривались породы с кварцевыми жилами и прожилками, концентрация двуокиси углерода в промысловой жидкости достигала 190 см<sup>3</sup>/л. В отдельных пробах сильно газонасыщенного глинистого раствора углекислый газ (не учитывая азот) являлся основным газовым компонентом. Так, при проведении газового каротажа скв. 918 Южного участка, встретившей на глубинах 394 и 440 м тектонические нарушения, выполненные кварцевыми жилками, с поверхности трещиноватых обломков керна, поднятых с этих глубин, с шипением выделялся свободный газ, анализ которого приведен ниже

	Глубина отбора пробы, м	
	394	440
CO <sub>2</sub>	11,4	11,3
O <sub>2</sub>	18,2	18,4
H <sub>2</sub>	0	0
CH <sub>4</sub>	0,1	0
N <sub>2</sub>	70,3	70,3

Углекислый газ здесь единственный компонент (без кислорода и азота воздуха).

Особого внимания заслуживают результаты газового каротажа скв. 946, 947 Северо-Западного участка Балейского грабена. Как уже

отмечалось выше, при проходке нетрещиноватых ундинских гранитоидов в пробах промывочной жидкости были определены незначительные содержания  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{H}_2$ . Однако в пробах глинистого раствора, отобранных при разбуривании скв. 946, 947 "глыбового горизонта", концентрации водорода и метана (а в случае наличия в этом интервале кварцевых прожужков и углекислого газа) достигали соответственно 225 и 6,5 см<sup>3</sup>/л. Ни в одной из проб глинистого раствора каротируемых скважин не было отмечено таких больших содержаний водорода. Здесь следует отметить, что даже в воздухе у устья скв. 946 при проходке "глыбового горизонта" концентрация водорода составляла 0,4%. Повышенные концентрации горючих газов в глинистом растворе были отмечены также в песчаниках балеysкой свиты, залегающих глубже отложений "глыбового горизонта" (водорода до 106,4 см<sup>3</sup>/л, метана до 17,9 см<sup>3</sup>/л). В некоторых пробах промывочной жидкости определялись редкие газы (р.г.). Как показал газовый анализ, количество гелия и аргона в глинистом растворе этих проб незначительно и близко к их содержанию в воздухе [18].

Для изучения химического состава газов, заключенных в замкнутых порах, пустотах и микротрещинах горных пород, из последних извлекалась газовая смесь методом вакуум-дробления и подвергалась анализу. В составе газовой смеси присутствуют в различных количественных соотношениях азот, водород, углекислый газ, метан и редкие газы.

Исследование керна каротируемых скважин позволило выявить, что максимальные концентрации азота (78,4 см<sup>3</sup>/кг) характерны для ундинских гранитоидов, а минимальные (32 см<sup>3</sup>/кг) — для песчаников. Конгломераты по содержанию в них азота близки к гранитоидам.

В распределении водорода, углекислого газа и метана наблюдается следующая закономерность. Для изверженных пород из вышеперечисленных газовых компонентов преобладающий — водород, средние концентрации которого составляют 11,0 см<sup>3</sup> на 1 кг гранитоидов. В значительно меньших количествах в этих породах присутствует углекислый газ (5,9 см<sup>3</sup>/кг). Метан в большинстве образцов гранитоидов не был обнаружен, лишь в единичных случаях его содержание достигает 3 см<sup>3</sup>/кг.

Конгломераты, выполняющие Балеysкую депрессию, имеют газосодержание, в основном подобное содержанию газов в гранитоидах. Отмечено, что лишь отдельные образцы конгломератов, цементирующий материал которых содержит органические включения, обычно имеют повышенные концентрации метана, углекислого газа и водорода.

Пористые песчаниковые отложения разреза, включающие большое количество обуглившихся растительных остатков, отличаются от других пород депрессии высоким содержанием водорода, достигающим более 70 см<sup>3</sup>/кг. В газовой смеси песчаников в значительных количествах присутствуют также углекислый газ от 2–15 до 34–95 см<sup>3</sup>/кг и метан до 5 – 7,9 см<sup>3</sup>/кг.

Интересные результаты были получены в процессе изучения газосодержания рудных тел и вмещающих пород в приконтактной зоне.

В составе газовой смеси, извлеченной из образцов руды, были обнаружены значительные концентрации водорода (до 100 см<sup>3</sup>/кг), достигающие в отдельных случаях 200–460 см<sup>3</sup>/кг и в десятки и сотни раз превышающие содержание водорода во вмещающих породах. Метан, как правило, в кварце отсутствует. В заметных количествах он был обнаружен в единичных случаях. Во всех пробах кварца помимо горючих компонентов были определены также углекислый газ до 62,5 см<sup>3</sup>/кг и азот. Содержание последнего изменяется в широких пределах от 4,1 до 400 см<sup>3</sup>/кг (табл. 14).

Газосодержание большинства проб вмещающих пород мало чем отличается от качественной и количественной характеристик газов, обнаруженных при проведении газового каротажа скважин в верхнеюрских-нижнемеловых песчаниках и конгломератах грабена. В некоторых из них, отобранных на контакте с кварцевыми жилами, определены повышенные концентрации углекислого газа, достигающие 100–250 см<sup>3</sup>/кг, а в отдельных случаях – и водорода в количествах 50–80 см<sup>3</sup>/кг и даже более 200 см<sup>3</sup>/кг.

Определение содержания редких газов в горных породах района исследований показало, что в большинстве случаев концентрации легких и тяжелых редких газов в породах близки к содержанию их в атмосфере [18].

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ГАЗОНОСНОСТИ

Для выяснения общих закономерностей распределения природных газов в пределах Балейской депрессии были сопоставлены все имеющиеся материалы по газоносности района и в первую очередь результаты газового каротажа. Чтобы нагляднее проследить за характером изменения содержания отдельных газовых компонентов по разрезу, их связи с определенными литологическими комплексами пород или дизъюнктивными нарушениями, нами по данным анализов были построены кривые содержания газов в керне и глинистом растворе вдоль геологических разрезов каротируемых скважин (рис. 12–22).

Следует отметить, что при интерпретации результатов газового каротажа учитывались, по возможности, те изменения газосодержаний, которые могли быть обусловлены различными методическими погрешностями: степенью дегазации глинистого раствора в единицу времени; газовым составом воды, идущей на приготовление бурового раствора; перерывами в циркуляции промывочной жидкости и т.д. В результате выявлены следующие особенности в распределении природных газов района исследований. В газовом составе гранитоидов, слагающих борта и фундамент грабена, определены азот, водород, углекислый газ и метан в количествах (средних) (см<sup>3</sup>/кг): N<sub>2</sub> – 78,4; H<sub>2</sub> – 11,8; CO<sub>2</sub> – 5,9; CH<sub>4</sub> – 0,9. Азот и водород здесь преобладают.

Состав и содержание природных газов в кварцевой руде

№ пробы	Место отбора пробы	Газовый состав (без O <sub>2</sub> и N <sub>2</sub> воздуха), см <sup>3</sup> /кг				Характеристика образцов руды (кварц)
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> +p.g.	H <sub>2</sub>	
<u>Южный рудный узел</u>						
2152	Штрек по жиле № 1, восстающий № 5-бис, горизонт 216 м	11,5	4,1	37,5	466,7	Допродуктивный халцедоновидный
192	Зона 1, штрек по жиле № 23-северная, в 26 м от северного квершлага, горизонт 316 м	45,2	0	4,1	256,4	Допродуктивный, неяснополосчатый
207	Зона 1, штрек по жиле № 1-северная, в 102 м от северного борта квершлага № 1 - западный, горизонт 316 м	20,8	0	4,3	195,1	То же
217	Зона III, жила № 27, блок 9, зона сброса, горизонт 166 м	17,1	3,1	6,7	133,6	Допродуктивный халцедоновидный
2169	Штрек по жиле № 33-северная, в 69 м от северного борта квершлага № 1-восточный, горизонт 316 м	2,5	1,2	113,2	148,7	То же
<u>Юго-Западный рудный узел</u>						
13-К	Жила № 1 юго-западная, в 34 м от квершлага № 2, горизонт 107 м.	20,5	0	120,5	17,6	Продуктивный, неяснополосчатый
12-К	Жила № 8 юго-западная, в 1,5 м от квершлага № 2, горизонт 107	0,9	0	237,8	26,3	Продуктивный, тонкополосчатый
<u>Южный рудный узел</u>						
2124	Штрек по жиле № 28, горизонт 266 м	16,9	0	400	18,0	То же
2108	Штрек по жиле № 28, горизонт 216 м	9,4	0	45,1	19,2	" "
201	Штрек по жиле № 23 - северная, в 20 м от северного квершлага, горизонт 316 м	9,1	0	62,5	20,2	" "
<u>Северный рудный узел</u>						
163	Штрек по жиле № 3, горизонт 266 м	9,4	0	300	14,3	" "
<u>Южный рудный узел</u>						
220	Зона III, жила № 17, подэтаж от восстающего № 2, горизонт 126 м	13,8	2,3	16,5	4,0	" "
215	Подэтаж, в 5 м от восстающего № 31, горизонт 166 м	21,1	0	151,2	9,3	Продуктивный, полосчатый
213	Штрек 1-северный, горизонт 166 м, район блока 1	29,5	0	51,3	5,0	То же
195	Зона 1, жила № 1, штрек 1-северный горизонт 316 м	62,5	0	36,6	0	Послепродуктивный, темно-серый (в трещине сескушей рудное тело)
<u>Юго-Западный рудный узел</u>						
7-К	Штрек жила № 3, в 76 м от квершлага № 2, горизонт 107 м	35,6	6,8	288,6	0	То же

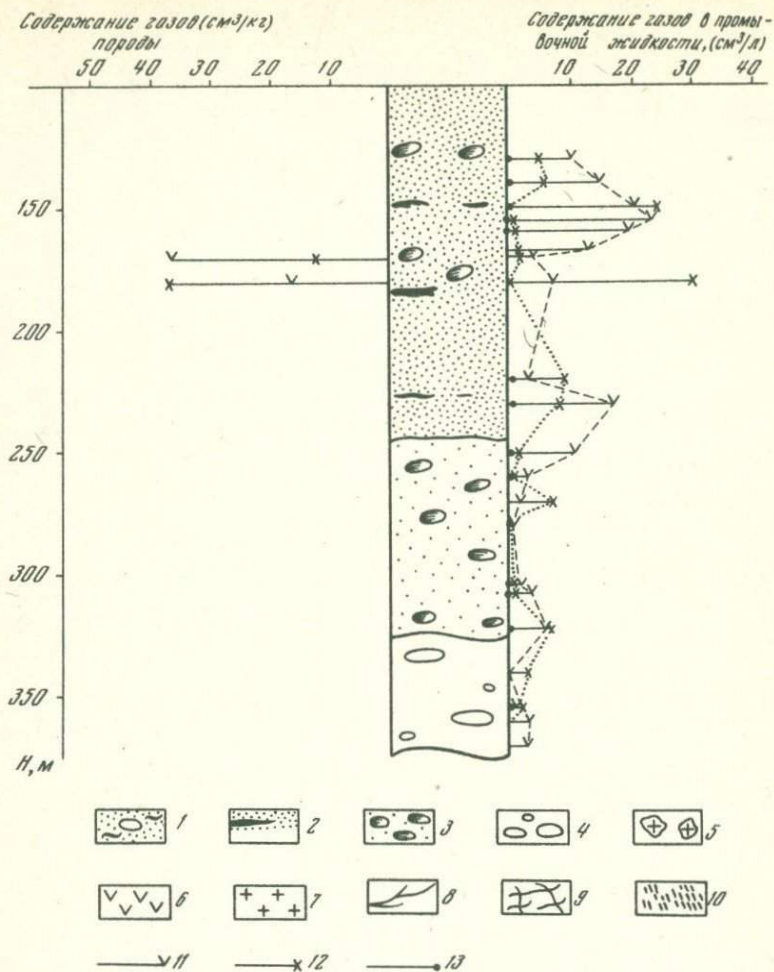


Рис. 12. Разрез по скв. 1038 с нанесением данных газового каротажа  
 1 - аллювиальные отложения; 2 - песчаники с прослоями органики;  
 3 - песчанико-конгломератовые отложения балеиской свиты; 4 - конгломераты тергенской свиты; 5 - "глыбовый горизонт"; 6 - порфириты талангуйской свиты; 7 - ундиинские гранитоиды; 8 - кварцевые жилы и прожилки; 9 - участки повышенной трещиноватости; 10 - зона каолинизации; содержание в пробах пород и промывочной жидкости, см:  
 11 - углекислого газа; 12 - водорода; 13 - метана

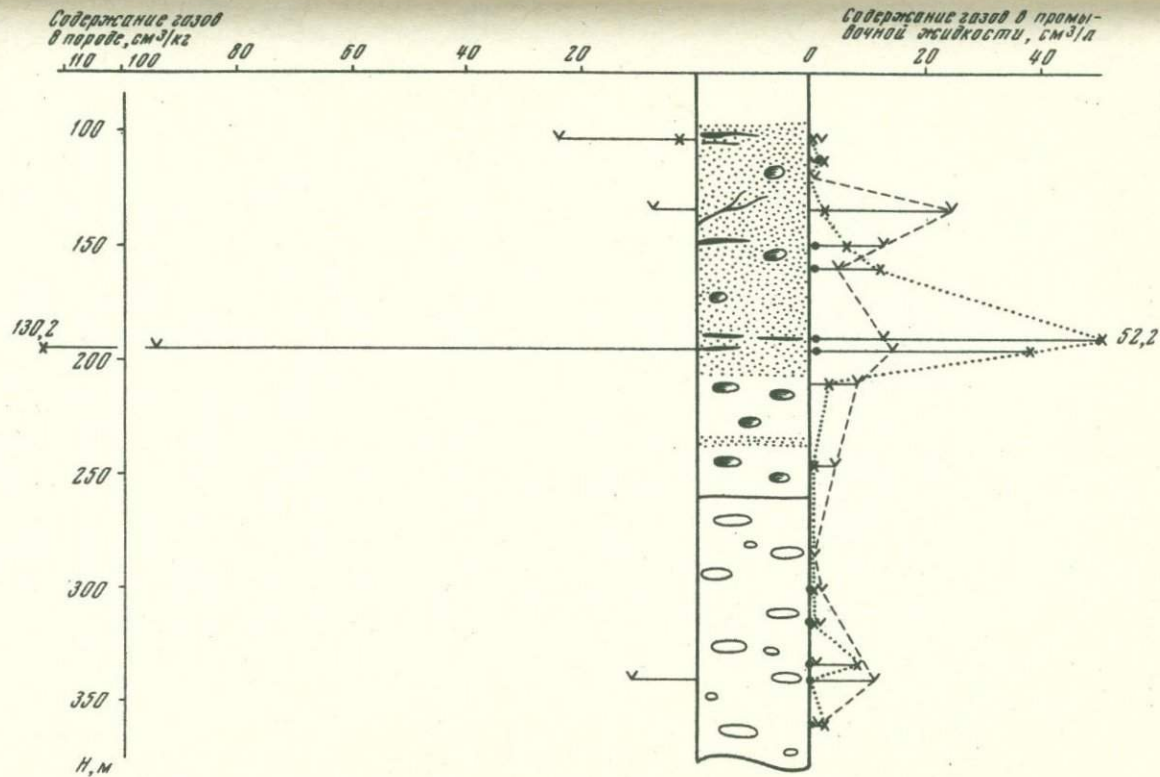


Рис. 13. Разрез по скв. 1037 с нанесением данных газового каротажа  
Условные обозначения см. на рис. 12

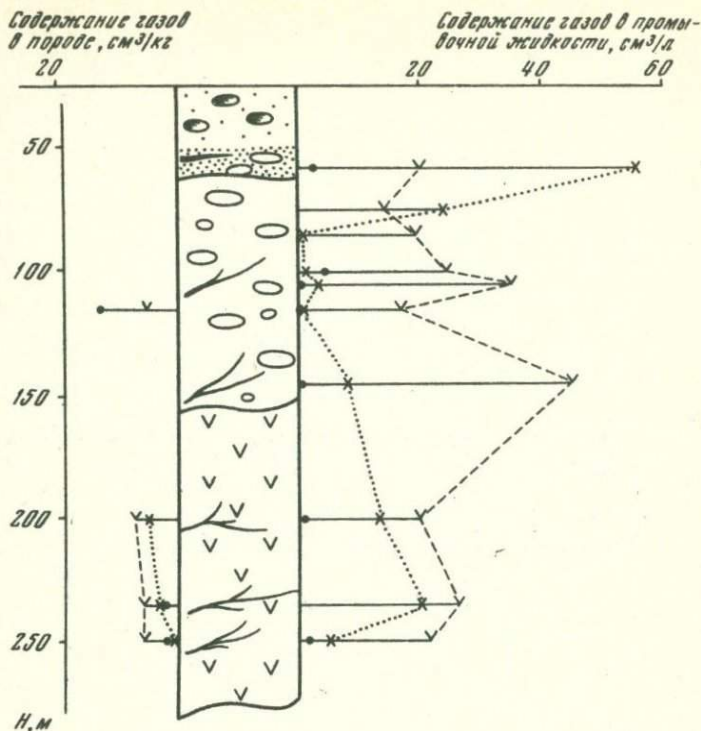


Рис. 14. Разрез по скв. 937 с нанесением данных газового каротажа  
Условные обозначения см. на рис. 12

Аналогичным газосодержанием характеризуются и мезозойские конгломераты. Такое распределение газов в этих породах обусловлено, вероятно, вещественным составом последних. Петрографический анализ конгломератов показал, что галечно-валунный материал, а также цементирующая их масса имеют в основном такой же состав, что и подстилающие их гранитоиды.

Некоторое увеличение значений метана и углекислого газа в конгломератах характерно для образцов, в цементирующей массе которых отмечаются отдельные редкие включения обугленных растительных остатков.

Состав газов и связь их с вмещающими породами особенно ярко выражены для разнозернистых мезозойских песчаников (также прослоев алевролитов и аргиллитов), пользующихся широким распространением в балейской свите. Судя по вещественному составу (кварц, полевой шпат, слюда и глинистый цемент), поставщиком обломочного материала и для этих образований являлись породы гранитоидного типа.

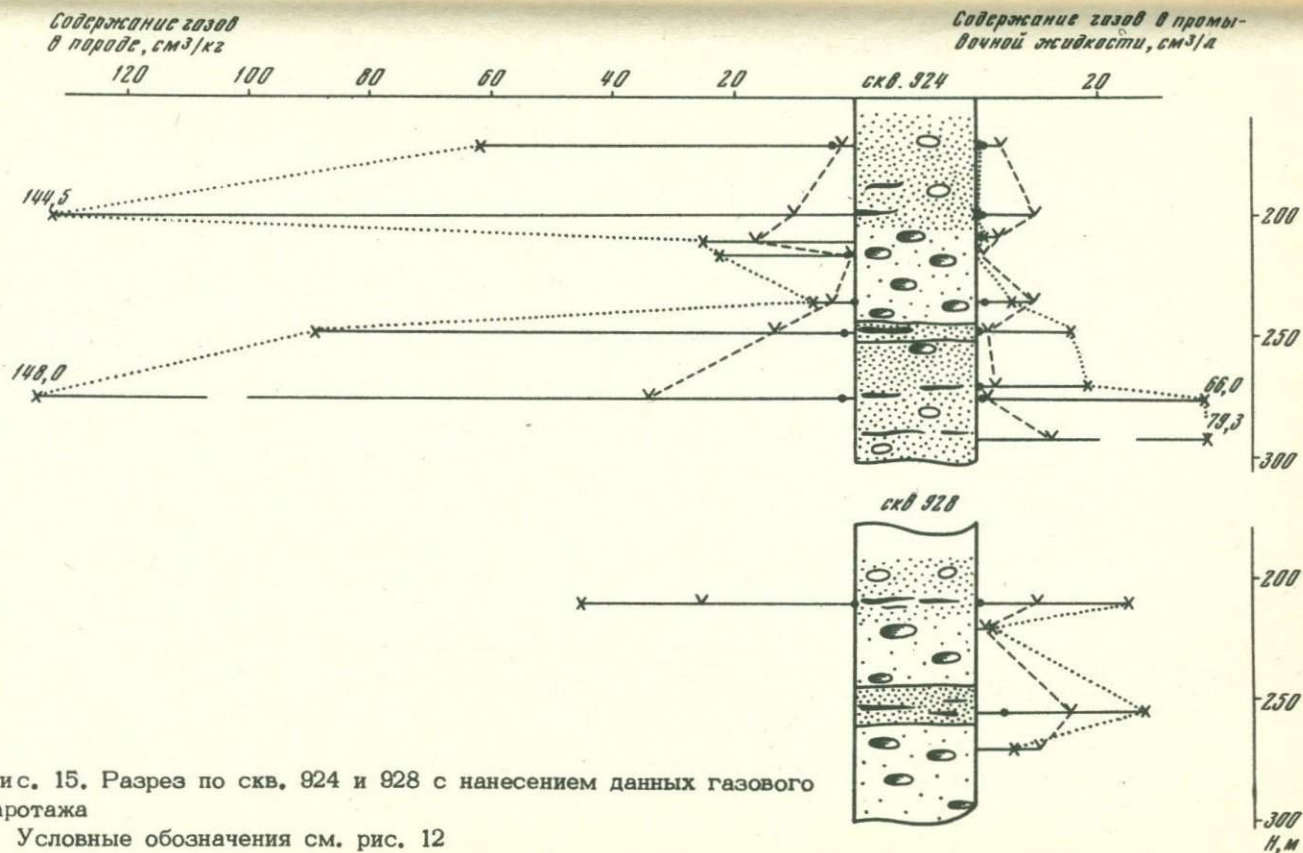


Рис. 15. Разрез по скв. 924 и 928 с нанесением данных газового каротажа

Условные обозначения см. рис. 12

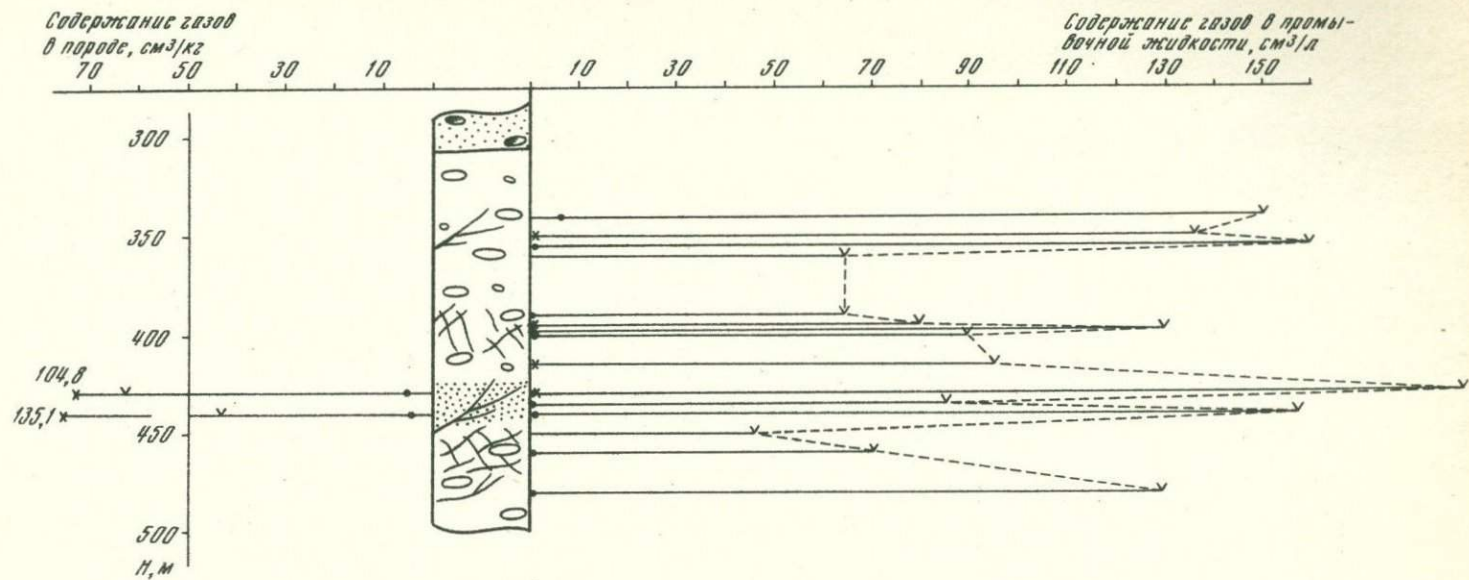


Рис. 16. Часть разреза по скв. 918 с нанесением данных газового каротажа  
Условные обозначения см. на рис. 12

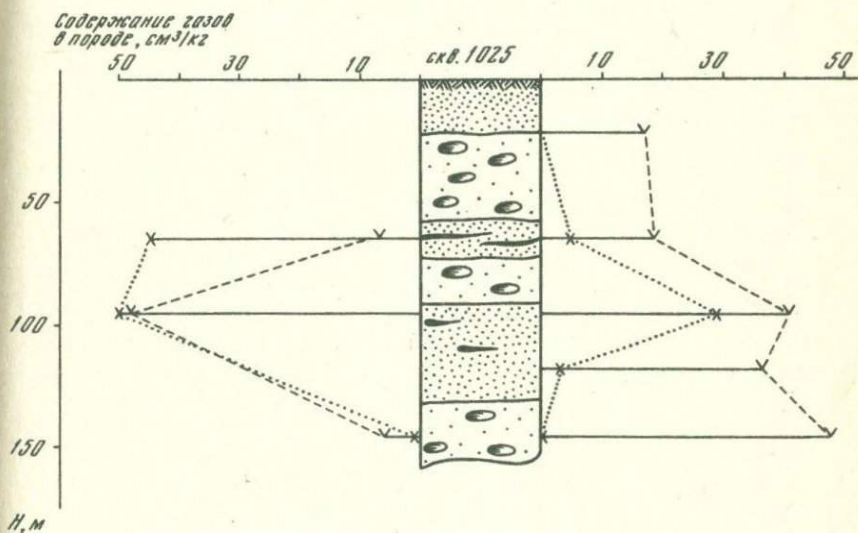
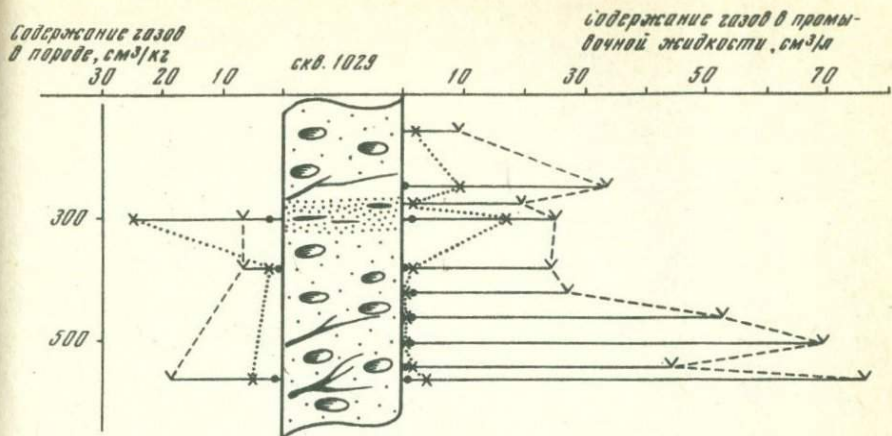


Рис. 17. Части разрезов по скв. 1029 и 1025 с нанесением данных газового каротажа

Условные обозначения см. на рис. 12

К отличительной особенности мелкообломочных отложений балеической свиты относится наличие в них небольшого количества включений, линзочек и прослоек с обугленным растительным детритом. Содержание водорода, метана и углекислого газа в этих породах резко возрастает. Это весьма наглядно отражено на кривых газового каротажа (см. рис. 12, 13, 15, 17, 19, 20).

Содержание газов  
в породе, см<sup>3</sup>/кг

120 100 80 60 40 20 0 0 20 40

Содержание газов в промы-  
вочной жидкости, см<sup>3</sup>/л

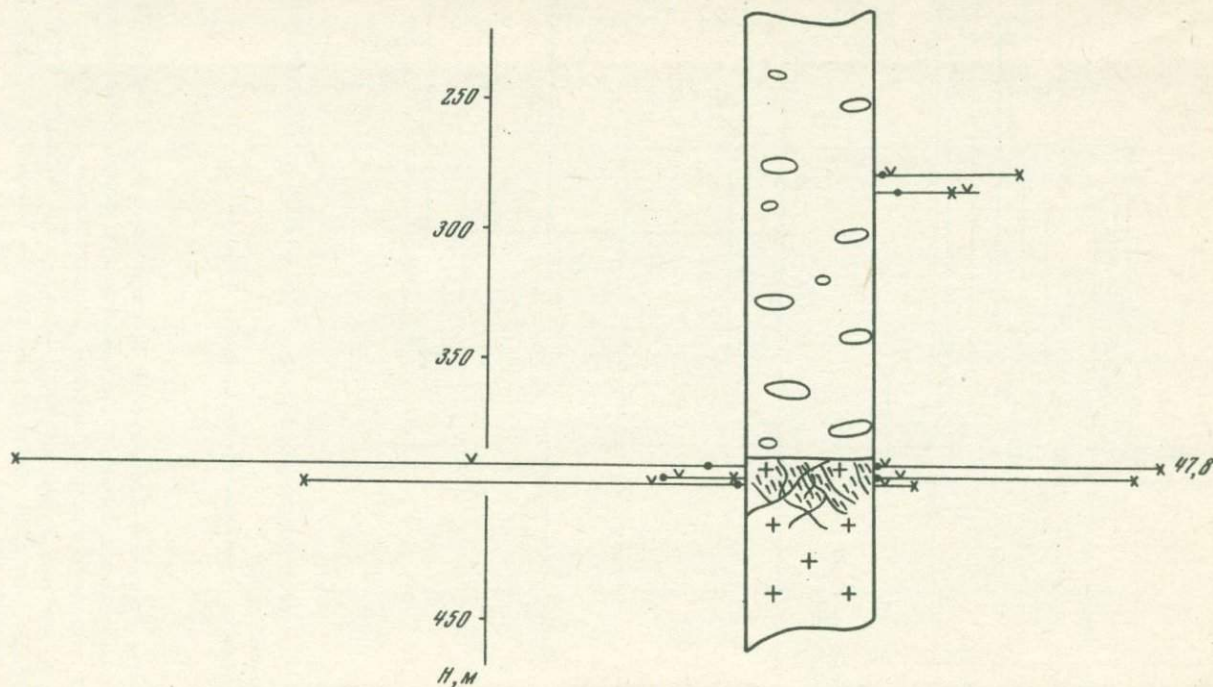


Рис. 18. Разрез по скв. 923 с нанесением данных газового каротажа  
Условные обозначения см. на рис. 12

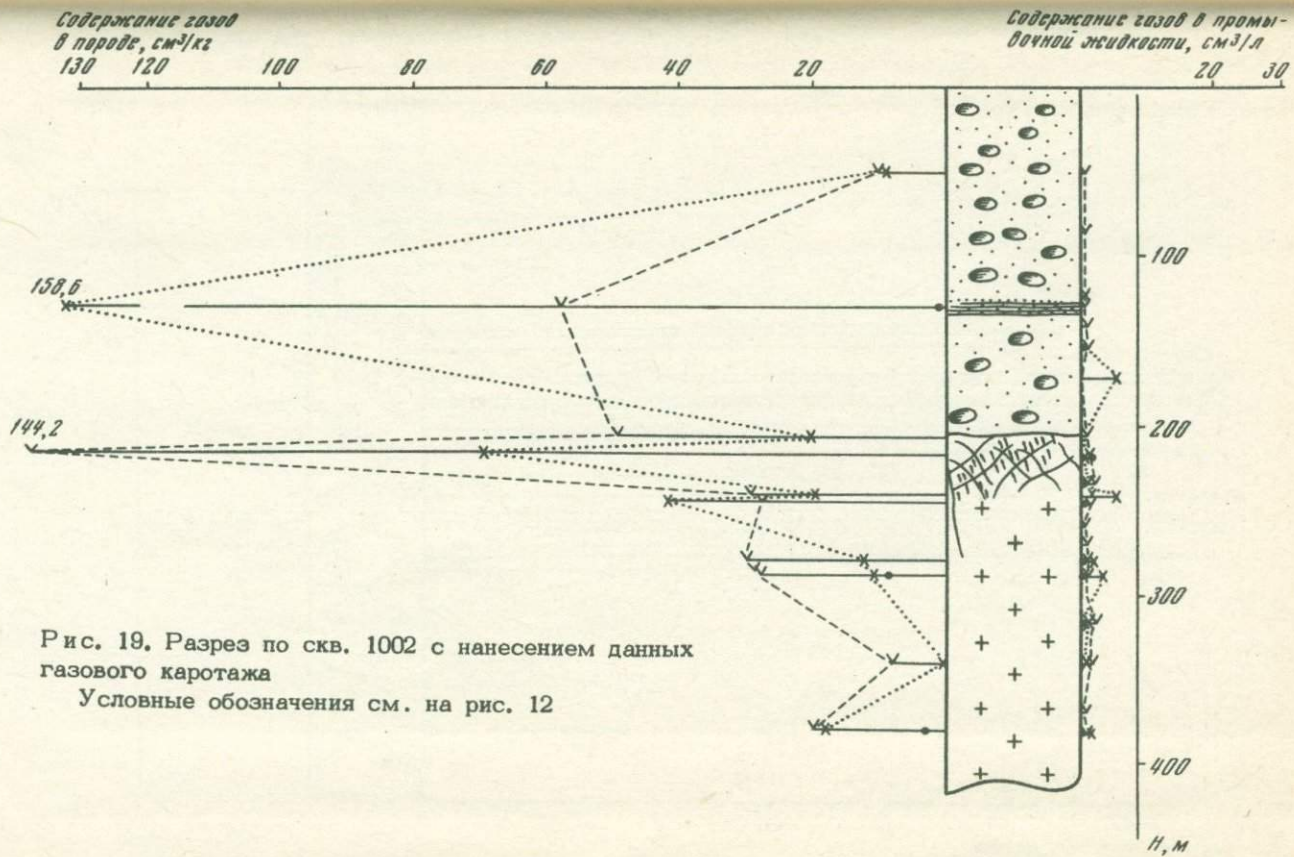


Рис. 19. Разрез по скв. 1002 с нанесением данных газового каротажа  
 Условные обозначения см. на рис. 12

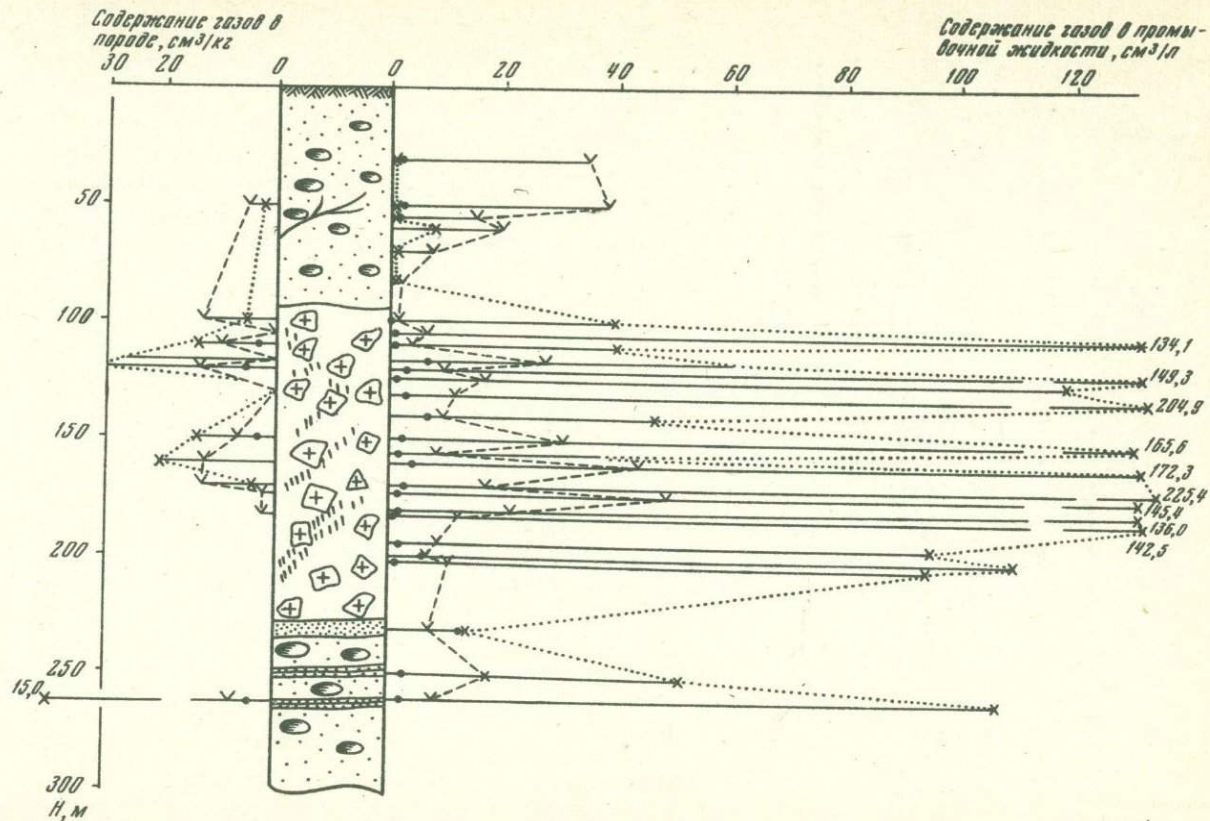


Рис. 21. Разрез по скв. 946 с нанесением данных газового каротажа  
Условные обозначения см. на рис. 12



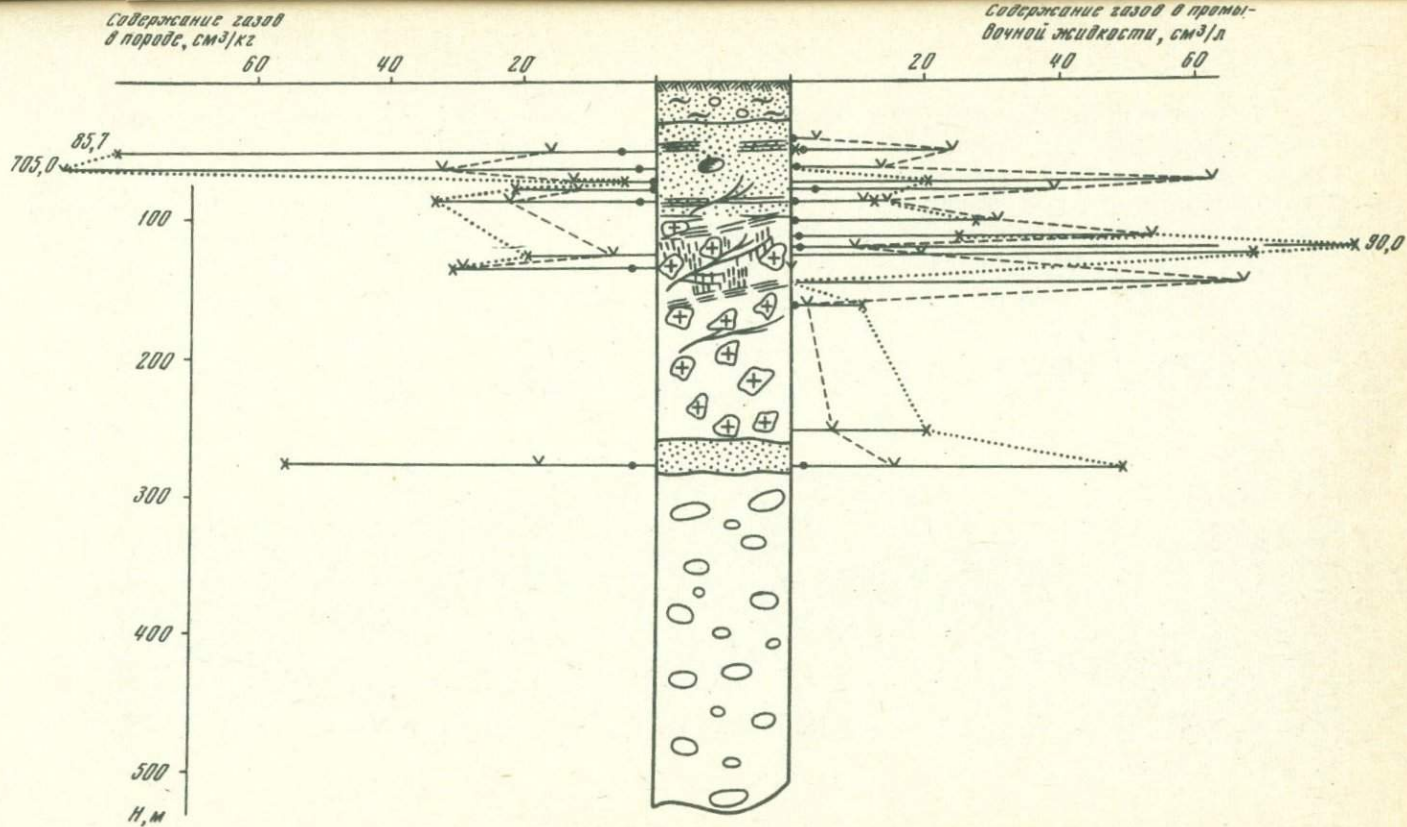


Рис. 22. Разрез по скв. 947 с нанесением данных газового каротажа  
 Условные обозначения см. на рис. 12

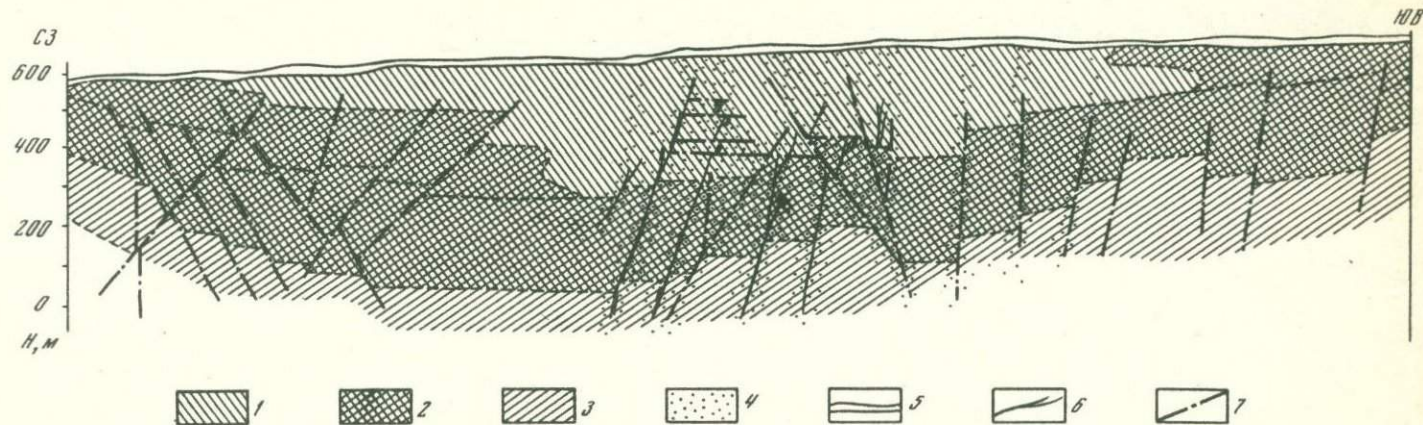


Рис. 23. Схематический профиль газоносности Балейского грабена по линии ВВ

1 - природные газы ( $134 \text{ см}^3/\text{кг}$ ), связанные с верхнеюрскими - нижнемеловыми песчаниками (водород - 52%, азот - 24%, углекислый газ - 22%); 2 - природные газы ( $100 \text{ см}^3/\text{кг}$ ), связанные с верхнеюрскими - нижнемеловыми конгломератами (азот - 75%, углекислый газ - 12%, водород - 11%); 3 - природные газы ( $97 \text{ см}^3/\text{кг}$ ), связанные с верхнепалеозойскими ундинскими гранитоидами (азот - 81%, водород - 12%, углекислый газ - 6%); 4 - участок повышенных выделений свободного углекислого газа (99-100%), поступающего с глубины вдоль трещиноватых кварцевых жил; 5 - экранирующая кора выветривания и рыхлые наносы; 6 - кварцевые жилы; 7 - тектонические нарушения

Можно предположить, что значительные содержания горючих газов (метана и особенно водорода), обнаруженные в глинистом растворе при перебурировании "глыбового горизонта", обусловлены их поступлением из залегающих ниже песчанников, обогащенных детритом отложений балейской свиты (см. рис. 21, 22). Трещины огромных глыб удинских гранитоидов, а также межглыбовое пространство в данном случае, видимо, явились коллекторами для мигрирующих газов, а перекрывающая "глыбовый горизонт" пачка конгломератов с прослоями песчанников - экраном, способствующим сохранению этих газов.

При сравнении средних газосодержаний пород (крен) Балейского грабена установлено, что наименьшую газоносность имеют удинские гранитоиды (97 см<sup>3</sup>/кг). Газоносность несколько увеличивается у конгломератов и приобретает максимальное значение у песчанников - 134,5 см<sup>3</sup>/кг (рис. 23, табл. 15).

Таблица 15

Газовый состав, см<sup>3</sup>/кг

Порода	Промывочная жидкость					Крен				
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	Среднее газосодержание	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	Среднее газосодержание
Удинские гранитоиды	2,9	0,9	30,2	2,6	36,6	5,9	0,9	78,4	11,8	97,0
Верхнеюрские-нижнемеловые конгломераты	11,6	0,7	40,3	4,7	57,3	12,5	1,1	76,0	10,9	100,5
Верхнеюрские-нижнемеловые песчаники	13,8	0,9	40,2	14,0	68,9	29,0	2,7	32,0	70,7	134,5

Промывочная жидкость отличается пониженными концентрациями в ней природных газов по сравнению с газосодержанием соответствующих нетрещиноватых пород. Это свидетельствует о поступлении природных газов в глинистый раствор главным образом из разбуриваемой породы. Резко увеличивается газосодержание промывочной жидкости при пере-

бурировании трещиноватых пород. В этих случаях аномальные значения концентраций газов в промывочной жидкости каротируемых скважин выражены на графиках высокими пиками. Причину таких резких увеличений газосодержаний глинистого раствора следует искать не в вещественном составе пород, а в структурных особенностях строения Балеиской депрессии и притоке газов с глубины. Балеиское рудное поле характеризуется исключительно высокой тектонической раздробленностью. Разрывные нарушения отмечаются во всех слагающих грабен породах. Многие нарушения являются рудовмещающими и, как показали исследования газопроявлений рудников, к этим же тектоническим зонам приурочены выходы минерализованной воды и спонтанного углекислого газа. Максимальные концентрации углекислого газа в промывочной жидкости отмечались именно при газовом каротаже нарушенных и пересеченных кварцевыми жилами и прожилками интервалом на различных глубинах разрезов скважин. Сравнение газосодержания горных пород, отобранных с этих же интервалов разреза, показало, что количество заключенного в них газа в несколько раз меньше, чем в глинистом растворе (см. рис. 14, 16, 17). Все это позволяет заключить, что основная масса свободного углекислого газа, отмеченная в горных выработках, трещиноватых коллекторах, подземных водах, буровом растворе и т.п., поступает по тектоническим нарушениям с глубины, а не из пород, слагающих депрессию. Именно глубинный углекислый газ, огромные количества которого сосредоточены в пределах Балеиского грабена, имеющего закрытый характер, создает повышенную газоносность месторождений и препятствует ведению горнопроходческих работ.

Следует также отметить, что в горных выработках не исключена возможность встречи локальных участков со значительным скоплением горючих газов. Исследование газосодержания образцов руды и вмещающих пород в приконтактной зоне показало, что концентрации водорода в отдельных случаях достигают более 200 см<sup>3</sup> на 1 кг породы. Это подтверждается высоким содержанием водорода (4–19% ВТИ) в некоторых пробах рудничного воздуха.

При изучении геологии природных газов первостепенное значение имеет выяснение условий их возникновения. Решение этого вопроса затрудняется тем, что многие процессы, по существу совершенно различные, могут приводить к образованию одних и тех же газовых компонентов. Для установления происхождения газовых компонентов и отнесения их к определенным генетическим типам созданы различные классификации природных газов. Первоначальная классификация природных газов по химическому составу и условиям их нахождения принадлежит В.И. Вернадскому [19]. Предложенная В.В. Белоусовым [20] более стройная генетическая классификация газов в дальнейшем была дополнена и расширена А.Л. Козловым [21]. На основании обобщения большого материала по составу природных газов В.А. Соколов построил более детальную их классификацию, в основу которой были положены условия нахождения и химический состав газов [22].

При выяснении генезиса природных газов Балейских золоторудных месторождений нами была использована классификация природных газов А.И. Кравцова [23], внесшего некоторые изменения в классификацию В.А. Соколова. Анализ химического состава и содержания газов Балейских месторождений и изучение геологических и гидрогеологических условий их нахождения позволил нам сделать определенные выводы о происхождении каждого газового компонента.

Углекислый газ. Основным компонентом в общем составе свободных природных газов Балейских золоторудных месторождений является углекислый газ. Кроме того, он был обнаружен в различных количествах в руде, вмещающих ее горных породах и подземных водах. Нахождение углекислого газа в различных геологических условиях указывает на возможность его образования в результате разнообразных процессов. Прежде всего следует остановиться на происхождении свободного углекислого газа, поступающего в пределы Балейского грабена с глубины по тектоническим нарушениям и обуславливающего повышенную газонасыщенность Балейских золоторудных месторождений. Впервые предположение генезиса свободного углекислого газа в районе исследований было высказано М.С. Апаковой в 1954 г. По ее мнению, двуокись углерода, поступающая в горные выработки, является продуктом взаимодействия серной кислоты (образующейся в результате окисления сульфидов) с карбонатами ("гидролизная теория"). Возможность образования в исследуемом районе незначительных количеств углекислого газа таким путем при наличии кислорода не исключена. Однако вывод М.С. Апаковой в отношении происхождения основной массы свободного  $\text{CO}_2$  встречает ряд серьезных возражений.

1. Сульфиды в балейских рудах, а также во вмещающих их породах присутствуют в незначительных количествах. На долю пирита в рудах, как уже отмечалось выше, в среднем приходится около 0,5% жильного вещества. Данные химических анализов показывают, что содержание серы в образцах различных пород Балейского грабена не превышает 1%. Даже в условиях хорошо развитой зоны окисления при таком низком содержании сульфидов в породах должно образоваться весьма незначительное количество серной кислоты [24].

	S <sub>общ</sub> , вес. %	Число анализов
Осадочная толща . . . . .	0,39	10 (песчаники и конгломераты)
Гранитоиды . . . . .	0,01	2
Руда . . . . .	<1,0	6

Таким образом, становится очевидным, что объяснение образования углекислого газа в районе исследований гидролизной теорией не находит подтверждения в количественном расчете потребности серной кислоты для такой реакции.

2. Балейский грабен представляет собой закрытую геологическую структуру, характеризующуюся замедленным водо- и газообменом. Стяжения марказита и сидерита на отдельных участках отложений балейской свиты, а также сравнительно широкое распространение сероводорода в подземных слабоминерализованных содовых водах указывают на существование в грабене восстановительной обстановки, в которой окисление сульфидов невозможно.

3. Осадочные породы, выполняющие Балейский грабен, представлены отложениями континентального типа и лишены известняков или известковистых пород [25].

На наш взгляд, эти возражения полностью опровергают "гидролизную теорию" образования углекислого газа Балейских месторождений, которая не нашла большого числа последователей.

На генезис свободного CO<sub>2</sub> существуют и другие точки зрения. В 1958 г. А.А. Смирнов [26] выдвинул гипотезу об экзогенном происхождении углекислого газа, в частности для Забайкалья, которая поддерживалась и развивалась В.М. Степановым [27]. А.А. Смирнов считает, что образование CO<sub>2</sub> минеральных источников происходит в результате явления "термодиффузии газов атмосферы и зоны окислительных процессов, происходящих в неглубоких тектонических разломах, пересекающих породы горноскладчатых областей". Эта гипотеза образования свободного CO<sub>2</sub> находится в полном противоречии с фактическими данными, полученными различными исследователями, и поэтому была подвергнута развернутому критическому разбору в статьях В.П. Новик-Качана [24], А.В. Жевлакова [28], А.М. Овчинникова, В.В. Иванова, Л.А. Яроцкого [29], В.К. Кадырова, К.К. Казиева [30], И.Я. Пантелеева, Ю.П. Масуренкова, С.И. Пахомова [31]. Материалы, полученные нами, также противоречат гипотезе, выдвинутой А.А. Смирновым.

В результате детальных геохимических исследований газоносности Балейских золоторудных месторождений генезис свободного углекислого газа объясняется следующим образом. Приуроченность выходов углекислого газа (спонтанного и "сухих струй") к крупным разломам, прослеживающаяся на значительную глубину, длительность газовой выделений, значительный и постоянный дебит газа в совокупности с геологическими особенностями месторождений, — все это дает основание предположить генетическую связь  $\text{CO}_2$  с постмагматическими процессами, протекающими на глубине, и, следовательно, рассматривать углекислые струи района исследований как эксгаляции застывающих на глубине магматических очагов. Наличие четвертичных базальтов в долине р. Дай, на северо-востоке от Балейской депрессии, свидетельствует о недавно угасшей здесь вулканической деятельности, являющейся, вероятно, отдельными отщеплениями глубинного магматического очага, с которым большинство исследователей связывает балейское оруждение [2]. Указанием на генетическую связь  $\text{CO}_2$  с глубинными магматическими очагами является также приуроченность известных в настоящее время выходов углекислого газа (с минерализованной водой) к площадям с явным или скрытым проявлением молодой магматической деятельности [32, 33, 34].

Глубинное (постмагматическое) происхождение углекислого газа Балейских золоторудных месторождений подтверждается, кроме того, материалами изучения современного вулканизма. В активных вулканах имеется единственная возможность наблюдать газообразные вещества в естественной ассоциации с расплавленной магмой. Интересные обобщения по этому вопросу для вулканов Камчатки были сделаны Л.А. Башариной, И.З. Ивановым, С.И. Набоко, К.П. Флоренским и другими исследователями [35–38]. Как показывает анализ газообразных эксгаляций в вулканах, магмы различных вулканов содержат одни и те же легколетучие компоненты, количественные отношения которых обусловлены стадией развития магматического процесса (табл. 16). В высокотемпературную стадию состояния лав ( $500\text{--}830^\circ\text{C}$ ) вулканические газы всегда обогащены водородом и окисью углерода. При дальнейшем остывании лавы ( $300\text{--}420^\circ\text{C}$ ) в газовой смеси повышается роль сернистых и углекислых газов. В более поздние этапы поствулканического процесса газы серы исчезают, и состав их становится преимущественно углекислым.

Из всего изложенного выше следует, что все предпосылки геологического порядка, данные геохимических исследований газоносности Балейских золоторудных месторождений, а также результаты изучения явлений и процессов современного вулканизма подтверждают взгляды В.А. Обручева, Н.И. Толстихина, А.В. Львова и других исследователей, считающих  $\text{CO}_2$  минеральных источников Забайкалья последним отзвуком затухающей вулканической деятельности [33, 39–41].

Углекислый газ, заключенный в жильном кварце и изверженных породах, также имеет магматическое происхождение и сингенетичен этим образованиям. Незначительная часть углекислого газа Балейских месторождений в соответствии с геологическими условиями нахождения могла образоваться в результате сложных процессов биохимического преобразования органических веществ, заключенных в осадочных породах [9, 21, 22].

Таблица 16

Изменение содержаний водорода и двуокиси углерода от температуры лавы в составе вулканических газов Камчатки (по данным Л.А. Башариной)

Кратер, где отбиралась проба газа	Температура, °C	Газы без воздуха и паров воды, объем, %	
		H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Белянкина (извержение 1953 г.)	680	36,20	0
Белянкина	650	26,00	0
Апахончич (извержение 1946 г.)	500	69,50	0
Заварицкого (извержение 1949 г.)	500	36,80	0
Левинсон-Лессинга (извержение 1945 г.)	460	62,50	0
Апахончич (извержение 1946 г.)	460	46,00	0
Кржижановского (извержение 1956 г.)	400	15,30	21,50
Кржижановского	380	0	38,40
Белянкина (извержение 1953 г.)	360	25,00	11,25
Кржижановского (извержение 1956 г.)	280	0	56,00
Белянкина	220	0	85,00
Белянкина	210	0	78,20
Кржижановского	120	0	83,50

**Водород.** В результате детального изучения газоносности Балейских золоторудных месторождений в составе природных газов водород был обнаружен впервые. Минимальные содержания водорода были отмечены в газовых струях (0,01 %) и подземных водах (0,08–0,3 см<sup>3</sup>/л) Балейского грабена. Среди пород, принимающих участие в строение грабена, песчаники, включающие большое количество органических остатков, отличаются наибольшим содержанием в них водорода (среднее до 70,7 см<sup>3</sup>/кг). Максимальные количества водорода были обнаружены в некоторых пробах жильного кварца рудников (более 400 см<sup>3</sup>/кг) и глинистого раствора (более 200 см<sup>3</sup>/кг) из скважин северо-западного участка Балейской депрессии.

Учитывая геологические условия нахождения водорода, а также возможные случаи его образования в природных условиях [9, 21, 42, 43], происхождение этого газового компонента в пределах Балейского грабена можно предположить следующим образом. Один из возможных пу-

тей образования водорода — процесс биохимического превращения органических веществ в анаэробных условиях. Содержание значительного количества растительных органических остатков в осадочных породах грабена позволяет предположить, что органический углерод мог быть использован для биохимических процессов образования не только углекислого газа, метана и других газообразных продуктов, но также и водорода.

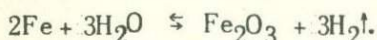
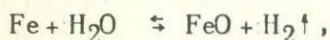
Исследования показывают [44, 45], что в составе газов угольных месторождений отмечается незначительное количество водорода по сравнению с содержанием метана. Если предположить, что подобное же соотношение этих газовых компонентов должно было иметь место при биохимических процессах газообразования в условиях БалеЙского грабена, то, учитывая большие содержания водорода, здесь следовало бы ожидать еще большее содержание метана. Но в составе газов грабена метан всюду играет подчиненную роль.

Лабораторные опыты позволили установить, что образование биохимического водорода резко увеличивается (по сравнению с метаном) при повышенных температурах, когда развитие микробов метанового брожения замедляется или прекращается совсем [46]. Если связать деятельность термофильных водородных микробов (в анаэробных условиях) с гидротермальными процессами, то и тогда масштабы образования водорода были бы крайне ограниченными, так как при общем относительно очень малом объеме жильных тел среди пород грабена их прогревающее воздействие на вмещающие породы незначительно. То же самое можно сказать и о прямом действии высоких температур на органическое вещество, содержащееся в породах грабена, если учитывать и такую возможность образования водорода. Все это позволяет нам исключить биохимические и термометаморфические процессы из числа основных возможных путей образования водорода.

В пределах БалеЙского грабена наибольшими содержаниями водорода характеризуются кварцевые жильные тела и пористые песчаники. При анализе газовой смеси, извлеченной из образцов кварца различных генераций, обнаруживается следующая закономерность (см. табл. 14). Максимальные значения водорода (до 466 см<sup>3</sup> на 1 кг кварца) связаны с наиболее ранними гидротермальными образованиями. По мере перехода к кварцам, возникшим на более поздних этапах, содержание в них водорода уменьшается, достигая нулевых значений в образцах послепродуктивного кварца. В этих более поздних генерациях кварца в газовом составе повышается роль углекислого газа. Такая закономерность распределения водорода в жильных телах очевидно указывает на глубинное (магматическое) происхождение этого газового компонента, на генетическую связь с гидротермальным процессом — источником золотого оруденения. Предполагается, что с теми же гидротермами водород поступил и частично сохранился в пористых песчаниках грабена.

Однако большую часть водорода, присутствующего в пористых отложениях грабена, мы склонны связать с другими, более молодыми магматическими процессами. Прямые проявления вулканизма (излияние базальтов) отмечены в непосредственной близости от района исследований, в пределах единой геологической структуры [3, 47]. В настоящее время

в районе излияния четвертичных базальтов (р.Дая), как и в пределах исследуемых месторождений, широко распространены выходы глубинного углекислого газа, связанного, вероятно, с единым магматическим очагом. Выше, в разделе о происхождении углекислого газа, на примере современных вулканов Камчатки было сказано, что в ранний период магматической деятельности в составе высокотемпературных эксгаляций среди газообразных веществ главная роль принадлежит водороду (см. табл. 15). Согласно современным воззрениям [9, 42, 44, 45], образование глубинного водорода происходит при действии водяного пара на силикаты и окислы ряда металлов, в частности железа, по следующей реакции:



Эта реакция наиболее интенсивно протекает при  $800^\circ\text{C}$  [42]. По мере снижения температуры в газовой фазе увеличивается значение углекислого газа, а содержание водорода падает. Это дает основание предположить, что поднимавшиеся с глубины ранние высокотемпературные эксгаляции, связанные с четвертичными базальтами бассейна р.Дая, были обогащены водородом.

В пределах Балейского грабена глубинный водород (связанный с этим последним этапом магматической деятельности), проникая по тектоническим ослабленным трещиноватым зонам, мигрировал в атмосферу и частично сохранился в пористых коллекторах (мезозойские песчаники) и трещиноватых зонах (вмещающие породы приконтактной зоны, "глыбовый горизонт"). Сохранению магматического водорода в осадочных породах способствовал закрытый характер Балейского грабена. Водород, находящийся в замкнутых порах, пустотах и микротрещинах изверженных пород, также имеет магматическое происхождение и сингенетичен им по времени образования. Некоторая часть водорода в пределах Балейского грабена могла образоваться в результате радиоактивных процессов. Действие альфа-частиц на воду и органическое вещество приводит к образованию свободного водорода в количествах, зависящих от концентрации радиоактивных и органических веществ в горных породах и подземных водах [19].

**Метан.** Многочисленные исследования, впервые проведенные русскими учеными (В.Л. Омелянским в 1901–1905 гг.; Т.Г. Гинзбург–Карагичевой в 1932 г.; Л.Д. Штурм и др.), позволили установить, что разложение органического вещества в среде, бедной кислородом, происходит при участии различных групп микроорганизмов. Лабораторные опыты показывают, что процессы микробиологического разложения органического вещества в анаэробных условиях приводят к образованию газообразных продуктов, прежде всего углекислого газа, метана и водорода. Биохимический процесс газообразования весьма широко распространен в природе и происходит, когда в наличии имеется источник питания микроорганизмов (органическое вещество) и соответствующие условия для их жизнедеятельности.

Результаты исследований показывают, что содержание органического вещества, заключенного в осадочных породах района исследований, достигает 0,5%.

Исходя из всего сказанного выше, а также сравнительных данных содержания  $C_{орг}$  в отложениях (угленосных) Донбасса и Волго-Уральской нефтеносной области (табл. 17), следовало бы ожидать значительного количества биогенного метана в осадочных породах Балейской депрессии. Но, судя по малому содержанию метана (в среднем не более 3 см<sup>3</sup>/кг) в составе природных газов, а также сравнительно небольшому количеству сероводорода (не более 2%), образовавшегося, вероятно, в результате десульфуризации, можно предположить, что в пределах Балейского грабена биохимические процессы газообразования играют незначительную роль. Причину этого, видимо, следует искать в неблагоприятных условиях для жизнедеятельности соответствующих микроорганизмов.

Метан, встреченный в изверженных породах, мог, вероятно, образоваться в результате синтеза двуокиси углерода и водорода (по реакции  $CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O$ ) при соответствующих термодинамических и физико-химических условиях. На возможность образования метана подобным образом указывает Н.И. Толстихин [49], однако эта реакция им ставится под сомнение, так как на том этапе исследований в газах Забайкалья не было обнаружено водорода. Обнаруженное нами большое содержание водорода в составе природных газов, связанных с изверженными породами Балейского грабена, позволяет утверждать, что образование метана этим путем вполне вероятно.

Таблица 17

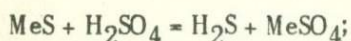
Сопоставление средних содержаний органического углерода в осадочных породах Донбасса, Волго-Уральской нефтеносной провинции и Балейских золоторудных месторождений

Район	Порода	$C_{орг}$ %	Примечание
Донбасс	Песчаники, аргиллиты, известняки (угленосные) $C_{1,2}$	0,65	По данным В.П. Козлова, 1959 г.
Центральный район Русской платформы	Глинистые прослои (континентальные) $D_3$ (ненефтеносные)	0,25	По данным А.Б. Роннова, 1959 г.
Волго-Уральская нефтеносная провинция	Глины прибрежно-морских фаций $D_3$	0,75	То же
Балейская депрессия	Песчаники, цемент конгломератов (пойменные и русловые фации) $I_3 - C_1$	0,50	По данным М.Г. Андреевой, 1963 г.

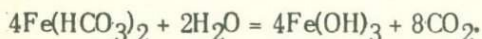
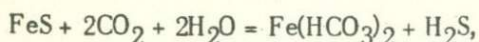
**Сероводород.** Этот газ содержится в составе природных газов (растворенных и заключенных в горных породах) БалеЙских месторождений в пределах 0,2-2%.

Некоторые исследователи указывают на возможность образования сероводорода путем

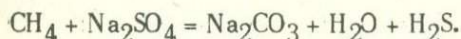
воздействия серной кислоты на сульфиды [49].



вытеснения сероводорода из сульфидов более сильной угольной кислотой (В.П. Новик-Качан, 1956 г.)



Низкие содержания сульфидов в руде и породах свидетельствуют об ограниченных масштабах этих процессов. Закрытый характер БалеЙской депрессии с развитой в нем восстановительной обстановкой, значительные количества органических веществ и небольшое содержание метана в осадочных породах грабена, а также пониженная концентрация в подземных водах сульфатов – все это указывает на биогенное происхождение сероводорода. Главным процессом, приводящим к образованию биохимического сероводорода, является реакция десульфуризации, в результате которой происходит восстановление сульфатов десульфуризирующими бактериями [21, 50]:



Помимо сероводорода в этом случае образуется некоторое количество гидрокарбонатно-натриевых (содовых) вод.

Рядом исследователей установлено, что десульфуризирующие бактерии, продуцируя водород, способны в атмосфере молекулярного водорода восстанавливать сульфаты до сероводорода [51]. Как показывает обзор литературы, сероводород при биохимических процессах образуется на различных глубинах и часто в значительных количествах. Однако будучи хорошо растворимым в воде, а также легко разлагаясь в условиях земной поверхности, сероводород почти весь уходит из газовой фазы. Вот почему в составе природных газов БалеЙских месторождений сероводород при необходимых условиях для его образования присутствует, как правило, в растворенном состоянии и в концентрациях, не превышающих 2%.

Из-за недостаточного объема проведенных исследований мы не располагаем достаточными данными по содержанию сероводорода в руде и изверженных породах БалеЙского грабена. Говоря о генезисе сероводорода в этой связи нет никаких оснований отвергать его магматическое происхождение. Наличие в раннем кварце вкрапленности пирита подтверждает участие в гидротермальных растворах сероводорода.

Азот. Он обнаружен почти во всех пробах природного газа (свободного, растворенного, сорбированного породами) БалеЙских месторождений. Его содержание изменяется в довольно широких пределах — от десятых долей процента до 60%, достигая в некоторых случаях более 90%.

Для выяснения источника азота природных газов был использован широко известный метод определения аргонового коэффициента [9, 20, 21, 52]. Анализ аргоновых коэффициентов, вычисленных для некоторых наиболее интересных, на наш взгляд, проб газа показал, что в большинстве случаев отношение  $\frac{Ar \cdot 100}{N_2 \cdot 1,18}$  весьма близко к единице

(табл. 18). Это указывает на происхождение основной массы азота из воздуха [53].

Обогащение осадочных пород БалеЙского грабена азотом происходило, вероятно, в процессе осадконакопления, а также благодаря привносу воздушного азота нисходящими поверхностными водами. Кислород воздуха в силу своей большой активности расходовался на различные реакции, и в газовой смеси увеличивалось относительное содержание химически инертного азота. Как отмечают многие исследователи, азот природных газов может также образовываться в результате биохимических процессов: при брожении белков и в процессе денитрификации [9, 20, 45, 46]. Учитывая вышесказанное, можно предположить, что часть азота, связанная с осадочной толщей БалеЙской депрессии, могла образоваться биохимическим путем. Это предположение подтверждается тем, что часть аргоновых коэффициентов имеет значение меньше единицы. Некоторое количество азота, заключенное в замкнутых изолированных порах и микротрещинах изверженных пород, генетически связано с ними и имеет магматическое происхождение.

Аргон. На основании сопоставления количественных соотношений азота и аргона в составе природных газов БалеЙских месторождений и воздуха можно сделать заключение о воздушном происхождении преобладающей части аргона. Лишь незначительное количество аргона в случаях, когда аргоновый коэффициент больше единицы, могло, по-видимому, образоваться в результате гамма-излучения радиоактивного изотопа калия ( $K^{40}$ ), содержащегося в горных породах БалеЙского грабена. Калий при этом превращается в аргон.

Гелий. Содержания гелия, обнаруженного среди природных газов БалеЙского грабена, в большинстве случаев соответствует его количеству в воздухе (0,001–0,002%). Лишь в некоторых случаях содержание этого компонента в газовой смеси достигает 0,0036–0,0075 (см. табл. 18).

Известно, что образование гелия в земной коре происходит постоянно и повсеместно в результате распада радиоактивных элементов [21, 44, 45]. Каждая альфа-частица, испускаемая распадающимся тем или иным радиоактивным атомом, представляет собой ядро атома гелия, которое, сталкиваясь с окружающими атомами, захватывает два электрона и становится обычным нейтральным атомом гелия. Поэтому в минералах, содержащих большой процент радиоактивных веществ, обнаружены значительные количества гелия. Так, например, 1 г уранинита

Содержание азота и редких газов в некоторых пробах горных пород, промывочной жидкости и воды

№ пробы	Место отбора пробы	Глубина отбора пробы, м	Проба газа	Содержание компонентов, %			Ar · 100 / N <sub>2</sub> · 1,18	Объем газа, см	Вес (г) или объем (см <sup>3</sup> ) пробы
				N <sub>2</sub> +р.г.	Ar (+тяжелые)	He (+легкие)			
<u>Северо-Западный участок</u>									
Скважина 946									
1587	Конгломерат (I <sub>3</sub> -Cr <sub>1</sub> )bal (измененная галька у Pz <sub>2</sub> )	49,8	Керн до дробления Керн после измельчения То же	94,4 92,8 94,8	0,997 0,885 0,955	0,0018 0,0020 0,0031	0,90 0,80 0,85	160 165 1130	368 - -
1626	Глибовый горизонт	99,5	То же	94,0	1,044	0,0021	0,94	100	321
1633	То же	104,5	Промывочная жидкость	44,7	0,469	0,0010	0,89	355	1000
1666	"-	132,0	Керн после измельчения	94,2	0,650	0,0010	0,60	165	319
1664	"-	132,0	Промывочная жидкость	16,9	0,329	0,0010	1,65	300	319
1692	"-	169,0	Керн после измельчения	88,8	0,679	0,0010	0,65	80	350
1695	"-	171,9	То же	82,8	1,067	0,0036	1,09	57	350
Скважина 947									
1632	Алевролит (I <sub>3</sub> -Cr <sub>1</sub> ) bal	85,0	"-	62,9	0,631	0,0012	0,82	90	319
1654	Глибовый горизонт	117,65	"-	80,0	0,772	0,0015	0,81	85	367
1629	Алевролит (I <sub>3</sub> -Cr <sub>1</sub> ) bal	75,0	Керн после измельчения	76,8	1,122	0,0019	1,24	60	296
1688	Ундинский гранитоид сильно трещиноватый, из глибового горизонта	143	"-	80,0	0,819	0,0011	0,86	-	-
<u>Южный рудный узел</u>									
2130	Жила № 33, восстающий № 2	266	Минерализованная вода	30,0	0,416	0,0010	1,17	-	-
2164a	Жила № 28, кварц	216	Керн после измельчения	-	0,918	0,0021	Малый объем газа	-	-
2146	Жила № 28, центральный ходок, блок 10, лежащий блок	266	То же	49,2	0,598	0,0014	1,02	92	180
2167	Шахта № 2 "слепая", кварцлаг, конгломерат (I <sub>3</sub> -Cr <sub>1</sub> ) bal	316	"-	27,6	0,359	0,0018	1,10	180	380
2157a	Жила № 7, восстающий № 5, конгломерат (I <sub>3</sub> -Cr <sub>1</sub> ) bal	216	Керн до дробления	91,6	1,127	0,0075	1,04	140	320
2170	Жила № 1, лежащий бок	316	То же	82,5	0,848	0,0010	0,87	90	341
2144	Жила № 28, центральный ходок, блок 10, висящий блок	266	Керн после измельчения	77,6	1,019	0,0010	1,10	51	367
2109	Жила № 28, кварц	266	Керн до дробления	-	0,985	0,0008	-	-	-
2152	Жила № 1, восстающий № 5-бис, кварц	216	То же	84,4	0,859	0,0016	0,86	220	337
2154a	Жила № 1, восстающий № 5-бис, лежащий бок	216	Керн после измельчения То же	9,6 88,6	0,169 0,934	0,0026 0,001	1,49 1,01	79 130	337 270
<u>Южный участок</u>									
Скважина 924									
325	Песчаник с большим количеством органики (I <sub>3</sub> -Cr <sub>1</sub> ) bal	170,0	Керн до дробления Керн после измельчения	91,0 70,8	0,854 1,3099	0,0008 0,0010	0,79 1,56	80 114	395 395
329	Песчаник с органикой	199,05	То же	30,0	0,672	0,0010	1,89	95	50
408	Конгломерат (I <sub>3</sub> -Cr <sub>1</sub> )ter	248,35	"-	48,6	0,618	0,0010	1,07	91	324
363	Конгломерат (I <sub>3</sub> -Cr <sub>1</sub> )ter	216,6	"-	87,5	1,337	0,0010	1,30	146	345

Таблица 18 (окончание)

№ пробы	Место отбора пробы	Глубина отбора пробы, м	Проба газа	Содержание компонентов, %			Ar · 100 N <sub>2</sub> · 1,18	Объем газа, см <sup>3</sup>	Вес (г) или объем (см <sup>3</sup> ) пробы
				N <sub>2</sub> + p.г.	Ar (+тя-же-лые)	He (+лег-кие)			
	Скважина 918								
420	Песчаник (I <sub>3</sub> -Cr <sub>1</sub> )ter, зона нарушения с кварцевым прожилком	442,65	—	26,5	0,9206	0,0010	2,90	110	367
450	То же, конгломерат (I <sub>3</sub> -Cr <sub>1</sub> )ter	468,05	Промывочная жидкость Керн до дробления	30,6 81,0	0,611 1,107	0,0010 0,0016	1,69 1,16	220 186	1000
456	Скважина 928 Конгломерат (I <sub>3</sub> -Cr <sub>1</sub> )bal	270,65	Промывочная жидкость	76,6	0,7086	0,0010	0,80	335	1000
447	Скважина 907 Конгломерат (I <sub>3</sub> -Cr <sub>1</sub> )ter с прослоями песчаника	103,3	То же	78,0	0,924	0,0010	0,10	220	1000
	<u>Юго-Западный участок</u>								
1247	Скважина 937 Верхнеюрские эффузивы	201,7	Керн после измельчения	79,0	0,672	0,0010	0,72	92	—
148	Скважина 25 Падь Мельничная	—	Минерализованная вода	0,9	0,044	0,0005	4,40	917	860
	<u>Юго-Восточный участок</u>								
	Самозливающиеся скважины								
8	429	—	То же	—	1,1672	0,0040	—	44	750
7	524	—	—	—	1,2635	0,0021	—	50	750
9	428	—	—	—	1,2630	0,0062	—	50	800
10	704	—	—	—	1,1930	0,0057	—	46,5	825

выделяет  $13,5 \text{ см}^3$ , 1 г торанита -  $8,9 \text{ см}^3$ , 1 г монацита - до  $2,5 \text{ см}^3$  гелия [19, 54].

Экспериментальными работами было установлено, что самоотдача гелия монацитом происходит без всякого воздействия извне: сравнительно большие куски монацита сами довольно легко отдают гелий. Исходя из этого В.И. Вернадский указывает, что "... современные россыпи, богатые торанитом или монацитом, должны являться областями усиленного испарения гелия в земную атмосферу" [55].

Таблица 19

Результаты исследований газосодержания образцов песка "серой толщи" при постепенном нагревании

№ пробы	Вес образца, г	Объем выделенного газа, см <sup>3</sup>	Т°, С нагрева	Газовый состав (в см <sup>3</sup> ) на 1 кг породы					
				CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	Ar	He
5	147,1	67	б/н	0,9	0	0	0	4,8	0,007
4	154,6	72	100	0	0	0	0	4,6	0,004
10	148,4	63	200	4,2	0	0	0	4,5	0,006
12	136,7	63	200	5,3	0	0	0	4,9	0,007
14	177,9	82	300	36,0	9,2	1,9	0	4,7	0,004
13	180,3	90	400	107,0	43,0	0	0	5,3	0,020
17	137,8	80	400	95,4	34,2	0	9,0	5,7	0,010
18	162,0	95	450	95,0	31,0	0	3,5	4,8	0,030
19	171,0	94	450	92,0	29,0	0	3,2	4,74	0,017

Проделанные нами в небольшом объеме опытные лабораторные исследования на определение газосодержания в образцах песка "серой толщи" (табл. 19) показали, что как без нагрева, так и при подогревании до  $300^\circ\text{C}$  из песка выделяется гелий в количествах  $0,004-0,007 \text{ см}^3/\text{кг}$ . При повышении температуры нагрева до  $400-450^\circ\text{C}$  выделение гелия увеличивается до  $0,01-0,03 \text{ см}^3/\text{кг}$ .

Принимая во внимание все сказанное выше, а также особенности геологического строения района исследований, можно предположить, что в составе природных газов Балейских месторождений помимо гелия воздушного происхождения присутствует гелий, связанный с процессами радиоактивного распада.

## Глава 6. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ОБУСЛОВИВШИЕ СОВРЕМЕННЫЙ ХАРАКТЕР ГАЗОНОСНОСТИ БАЛЕЙСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

К основным факторам, обусловившим современную газоносность Балейских золоторудных месторождений, относятся следующие.

1. Процессы газообразования в связи с историей геологического развития.
2. Влияние некоторых физических свойств пород грабена на газоносность месторождений.
3. Гидрогеологические условия месторождений.
4. Влияние геологических условий на газоносность.

### ПРОЦЕССЫ ГАЗООБРАЗОВАНИЯ В СВЯЗИ С ИСТОРИЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Процессы газообразования (магматические, биохимические, радиоактивные, химические реакции и др.) в пределах Балейской депрессии протекали с момента ее заполнения осадками. Чем раньше были образованы газы, тем вероятнее, что за время, прошедшее после их генерации, в пределах Балейского грабена создавались условия, благоприятствующие дегазации отложений.

Как видно из характеристики мезозойских осадочных отложений, выполняющих Балейский грабен, среди них выделяются две свиты — тергенская и балейская

В образовании тергенской свиты принимали участие крупные речные потоки, существовавшие в условиях значительно расчлененного рельефа. Расчлененность рельефа и хорошая газопроницаемость сильнообводненных галечников дают основание предположить возможность значительной дегазации этих отложений.

В последующий период развития Балейской депрессии происходило медленное ее опускание, сопровождавшееся накоплением осадков балейской свиты. Породы этой свиты, характеризующиеся повышенным содержанием органического вещества, явились источником газов биохимического происхождения. Основная масса газов, сингенетичных отложениям балейской свиты, в силу хорошей пористости и проницаемости пород, видимо, мигрировала в атмосферу. В дальнейшем интенсивная дегазация пород тергенской и балейской свит, несколько за-

медленная в результате диагенеза осадков, была значительно затруднена после образования в нижнемеловое время плотной, глинистой слабопроницаемой коры выветривания в верхней части осадочной толщи депрессии.

Появление плохо проницаемого экрана нарушило нормальный водо- и газообмен и привело к созданию в пределах грабена восстановительной обстановки. В этой среде стало возможным образование таких газов, как метан, сероводород и др.

В результате активизации в районе исследований в посленижнемеловое-дотретичное время тектонической и вулканической деятельности, проявившейся здесь в виде интенсивных гидротермальных процессов, в пределы Балейского грабена с рудоносными растворами поступили значительные объемы глубинных газов. Среди них преобладали водород, углекислый газ, азот. Вероятно, большая часть магматических газов, связанных с гидротермальными процессами, также мигрировала в атмосферу, лишь незначительные количества их сохранились в замкнутых, изолированных порах, трещинках и полостях, главным образом в кварцевых жилах и пористых песчаниках.

В начале четвертичного времени вновь возобновилась вулканическая деятельность, и в пределы грабена поступили новые порции глубинных газов: вначале с преобладанием водорода, а затем, по мере охлаждения магматического очага, — углекислого газа. В породах грабена, в основном в пористых балейских песчаниках, сохранилась только незначительная часть водорода. Поступление углекислого газа интенсивно продолжается и в настоящее время.

Современная повышенная газоносность Балейских золоторудных месторождений обусловлена прежде всего интенсивным подтоком глубинного углекислого газа. Как отмечалось выше, масштабы поступления этого газа в пределы грабена огромны, а миграция значительно затруднена благодаря наличию экрана — коры выветривания и слоя многолетней мерзлоты. Это и создает благоприятные условия для образования здесь больших скоплений углекислого газа и в меньшей степени водорода, азота и других газовых компонентов.

Так представляется краткая схема процессов газообразования в связи с историей геологического развития Балейского грабена [53].

## ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД ГРАБЕНА НА ГАЗОНОСНОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Для выяснения условий миграции и накопления газов в породах Балейского грабена были изучены коллекторские свойства образцов горных пород, а также их трещиноватость. В результате проведенных исследований выяснилось, что породы обладают неравномерной и сравнительно невысокой пористостью. Пористость у различных образцов пород неодинакова (табл. 20, 21). Несколько повышенной пористостью

## Данные исследований пористости пород\*

№ образца	Место отбора пробы	Краткая характеристика образца	Общая пористость, %	Коэффициент пористости
326	Скв. 924, глубина 170 м	Алевролит тонкозернистый, с редкими включениями органики	15,02	0,176
1610	Скв. 947, глубина 63,0 м	Алевролит	8,49	0,092
308	Скв. 919 глубина 219,4 м	Алевролит с углистыми примазками	12,77	0,146
1601	Скв. 947, глубина 48,0 м	Алевролит	11,62	0,131
2145	Южный рудный узел, горизонт 266 м, центральный ходок	Песчаник (кровля жилы № 28, блок 10)	11,68	0,132
2153	То же, горизонт 216 м, восстающий № 5-бис	Песчаник (висячий бок жилы № 1)	13,50	0,156
1656	Скв. 946, глубина 121,4 м	Ундинский гранитоид, трещиноватый	5,52	0,058
1701	Скв. 946, глубина 186,3 м	То же	4,80	0,050
355	Скв. 924, глубина 212,75 м	Ундинский гранитоид, среднезернистый (галька из конгломерата)	1,16	0,012
337	Скв. 924, глубина 207,7 м	Конгломерат крупногалечный	12,23	0,139
343	Скв. 924, глубина 209,1 м	Конгломерат среднегалечный	10,03	0,111
2112	Южный рудный узел, горизонт 266 м	Конгломерат (лежащий бок жилы № 28)	10,37	0,115
2134	То же, горизонт 316 м, кваршлаг № 1-восток	Конгломерат (лежащий бок кварцевой жилы № 28)	7,27	0,078
2157	То же, горизонт 216 м, восстающий № 5	Конгломерат, вмещающий жилу № 7	9,23	0,101

Таблица 20 (окончание)

№ образца	Место отбора пробы	Краткая характеристика образца	Общая пористость, %	Коэффициент пористости
2133	То же, горизонт 316 м	Конгломерат, вмещающий кварцевую жилу № 1-восток	8,27	0,090
2147	То же, горизонт 266 м, блок 10, центральный ходок	Конгломерат, лежащий в бок жилы № 28	8,99	0,098
340	Скв. 919, глубина 357,6 м	То же	10,91	0,122
340 а	То же	—"	7,27	0,078
1223	Скв. 937, глубина 102 м	Конгломерат	8,68	0,095
1251	Скв. 937, глубина 160 м	Порфирит	4,91	0,051
2107	Южный рудный узел, горизонт 216 м	Кварц из жилы № 28	3,44	0,031
2155	То же, горизонт 216, восстающий № 5	То же, № 7	6,15	0,065
2143	То же, горизонт 266 м, блок 10, центральный ходок	То же, № 8	8,37	0,091
2151	То же, горизонт 216 м, восстающий № 5-бис	То же, № 1	3,14	0,032
2149	То же, горизонт 216 м, восстающий № 5-бис	Полосчатый кварц из жилы № 1, трещиноватый	10,78	0,120
2123	То же, горизонт 266 м	Кварц из жилы № 28, северная часть	4,56	0,048
2161	То же, горизонт 216 м	Кварц с прослойками окремненной вмещающей породы, жилы № 27	7,09	0,076
2110	То же, горизонт 266 м	Молочный кварц из жилы № 28	8,81	0,097

Исследования проведены ЦНИГРИ.

Таблица 21

Данные исследований пористости песчаников  
балеийской свиты по скв. 1086, 1037 \*

Глубина отбора образца, м	Краткая характеристика песчаника	Объемный вес, $\gamma/\text{см}^3$	Удельный вес	Весовая влажность	Общая пористость, %
	Образец 1086				
55	Мелкозернистый	2,34	3,25	0,80	29,0
68	Грубозернистый	2,50	2,81	0,57	16,1
107	Тонкослоистый	2,34	2,77	0,84	20,0
164	Грубозернистый	2,47	3,13	0,63	23,0
217	—"	2,37	2,66	0,84	11,6
263,5	Слоистый	2,28	2,70	0,61	12,0
297	Косослоистый	2,46	2,75	0,67	10,9
306	—"	2,27	2,85	0,76	21,0
324	Среднезернистый	2,47	2,73	0,56	10,0
364	Мелкозернистый с растительными остатками	2,37	2,81	0,70	16,3
366,5	Мелкозернистый	2,51	2,65	0,33	16,0
	Образец 1037				
8	Мелкозернистый, косослоистый				
24	Среднезернистый	2,19	2,78	1,19	22,1
37	—"	2,29	2,79	1,40	19,1
67	Грубозернистый	2,15	2,71	0,91	21,3
75	Среднезернистый	2,26	2,74	0,67	18,1
95	—"	2,16	2,78	1,32	23,2
100	—"	2,20	2,71	0,83	19,4
110	Среднезернистый	2,36	2,83	1,29	17,5
137	—"	2,24	2,78	1,41	20,6
143	Грубозернистый	2,37	2,73	0,99	14,0
211	Мелкозернистый	2,45	2,73	0,97	12,2
219	Среднезернистый	2,45	3,07	0,82	20,7

\* Исследования проведены ЦНИГРИ.

обладают образцы верхнеюрской — нижнемеловой песчаниково-конгломератовой толщи. Наибольшую пористость имеют песчаники балеиской свиты (средняя 16,9%, максимальная 29%).

В образцах конгломератов тергенской свиты пористость изменяется от 7,27 до 12,23% (среднее 9,32%). В осадочных породах минимальная пористость находится в обратной зависимости от содержания в них глинистого цементирующего вещества. Значительно меньшей пористостью обладают породы магматического комплекса, средняя величина которой достигает 5,72%. Увеличение пористости некоторых образцов (2149, 1656) объясняется их трещиноватостью. По классификации П.П. Авдусина, М.А. Цветковой [56] породы района исследований по пористости могут быть отнесены к классам:

Д и Е, характеризующим малую и очень малую емкость, — изверженные породы и часть конгломератов;

С, характеризующему среднюю емкость, — преобладающая часть осадочных пород грабена;

В, который характеризует большую емкость, — песчаники балеиской свиты.

Значительная пористость песчаников балеиской свиты, их широкое площадное развитие и большая мощность дают основание заключить, что к центральной части грабена, где преобладают высокопористые песчаниковые отложения, приурочено повышенное скопление газов. Это подтверждается результатами газового каротажа.

При изучении пористости пород района исследований определялась лишь общая пористость. Но для выяснения условий миграции, важно определение не общей, а эффективной пористости, т.е. объема той части поровых каналов, которая может быть занята подвижной жидкостью (или газом) в процессе фильтрации. Естественно, эффективная пористость пород будет несколько меньше общей пористости.

Миграция газов и жидкости находится в прямой зависимости от проницаемости пород. Величины газопроницаемости образцов горных пород грабена сведены в табл. 22, из которой видно, что значение коэффициента проницаемости  $K$  изменяется от 0,225 до 163,0 мд. По классификации Г.И. Теодоровича [56] породы в основном относятся к IV—V классам, т.е. характеризуются как слабо- и очень слабо-проницаемые. Относительно высокой газопроницаемостью характеризуются песчаники ( $K = 163$  мд).

В составе нижнемеловых конгломератов и песчаников присутствует до 50% глинистого и пылеватого материала [4] с примесью различных количеств песка, извести, гидроокислов железа и т.д. За счет каолинизации глинистость повышается, поэтому фильтрационная способность конгломератов и песчаников относительно низкая. Повышенные значения коэффициента проницаемости некоторых образцов ундинских гранитоидов и конгломератов полностью объясняются наличием в них трещин.

Трещиноватость горных пород, обнаруженная на всех исследованных глубинах — весьма важный фактор, способствующий фильтрации газа. Поэтому изучение трещиноватости пород проводилось в основном с точки зрения оценки зон развития трещиноватых пород как возможных путей миграции газа.

Данные исследований проницаемости пород

№ образ-ца	№ скважины (глубина, м)	Порода	К, мд	Проницаемость породы по классификации Г.И. Теодоровича
1527	951 (176,5)	Ундинский гранитоид. (трещиноватый)	7,72	Слабая
1536	951 (185,5)	Ундинский гранитоид	7,0	-"-
1619	950 (298,0)	То же	0,559	Очень слабая
1226	937 (106,0)	То же, галька конгломерата	0,731	То же
1574	949 (240,9)	Ундинский гранитоид	0,225	-"-
320	923 (98,2)	Конгломерат	0,71	-"-
233	1038 (370,2)	-"-	43,1	-"-
247	1029 (365,0)	То же, трещиноватый	163,0	Средняя
4	25 (15,0)	Песчаник трещиноватый		Хорошо проницаемая

В результате напряженной тектонической деятельности в пределах рассматриваемой площади возникли более или менее протяженные зоны нарушения сплошности горных пород. Ко многим из них приурочены кварцевые золотоносные жилы.

В послерудный период некоторые нарушения были "оживлены", и хрупкий жильный материал претерпел интенсивное дробление. Такие жилы, а также участки окварцованных вмещающих пород приобрели повышенную трещиноватость. Помимо дробления материала в жильных телах нередко образованы зеркала скольжения и плоскости притирания. Часто наблюдаются случаи пересечения жильного тела или окварцованной зоны тектоническими нарушениями под некоторым углом (Южный рудный узел, жила № 1, горизонт 266 м; северо-восточная часть жилы № 28, горизонт 216 м и др.). В этом случае сильная трещиноватость жильного материала и зон околожильного окварцевания наблюдается на небольших участках. В песчаниках и конгломератах, если они не окварцованы, тектонические нарушения почти не сопровождаются трещиноватостью.

Трещиноватость магматических пород, сопровождающая тектонические нарушения, встречается на больших глубинах. При изучении керна буровых скважин установлено, что в гранитоидах трещиноватые зоны отмечены на глубинах более 350 м. В этих зонах можно выделить трещинки дробления и крутопадающей отдельности, аплитовые и кварцево-карбонатные прожилки, участки разрыхленной породы за счет процессов каолинизации.

Всё описанные трещины можно подразделить на три системы: вертикальные (параллельные оси керна), крутопадающие, составляющие угол  $30-35^{\circ}$  с вертикальной осью керна, и горизонтальные или почти горизонтальные (пологападающие). В большинстве случаев эти трещинки заполнены вторичными минералообразованиями — кристаллическим кальцитом, каолинитом, кварцем. Встречаются также открытые трещины (до 1 мм), служащие сравнительно хорошими путями передвижения подземных вод, а следовательно, и газов. Порода на контакте с такими трещинами имеет буровато-ржавую окраску от гидроксидов железа. Вертикальные и крутопадающие трещины — наиболее крупные и, по-видимому, являются наиболее благоприятными путями фильтрации подземных вод и газа с глубины. Трещины, как отмечалось выше, часто в той или иной мере бывают заполнены цементирующим материалом, что ограничивает интенсивность фильтрации. Горизонтальные и пологопадающие трещины в подавляющем большинстве закрытые. Вероятно, они имеют меньшее значение в миграции газов среди массива породы, чем вертикальные. Совершенно ничтожную роль в фильтрации газов играют микротрещинки, как правило, заполненные минеральными образованиями.

В связи с вышеизложенным можно заключить, что преобладающим видом миграции газов в пределах Балейского грабена является фильтрация (эффузия) по свободным порам пород и в основном по проводящим газ трещиноватым зонам. Диффузия газа играет здесь подчиненную роль. Главными путями фильтрации газа, с которыми связаны обильные выделения "сухих" газовых струй спонтанного газа в рудниках, слу-

жат зоны крупных дизъюнктивных нарушений и блочные трещины. Мелкие трещины имеют меньшее значение. Такой вывод полностью подтверждается связью газовыделений с дизъюнктивными нарушениями, результатами газового каротажа (см. гл. 4) и поверхностной газокерновой съемки (см. гл. 7).

## ВЛИЯНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ГАЗОНОСНОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Как известно, свободные газы (не заключенные в отдельных зернах минералов или изолированных пустотах) при своем перемещении в недрах всегда находятся в соприкосновении с подземными водами и в значительной части в них растворяются. В.И. Вернадский [57] указывал, что природные водные растворы представляют сложные подвижные системы вода  $\rightleftharpoons$  газ, причем газ, содержащийся в воде, находится в состоянии насыщения.

Инфильтрационные воды с содержащимися в них азотом и кислородом воздуха, проникая в глубь земной коры, растворяют в себе различные газообразные вещества, находящиеся в горных породах. При поступлении подземных вод с глубины в приповерхностные горизонты пород в условия пониженного давления происходит выделение растворенных в них газов. Именно такой процесс дегазации высокоминерализованных вод наблюдается в рудниках Балейской группы золоторудных месторождений, где из тектонических нарушений выделяются раздельно "сухие" газовые (углекислые) струи и частично дегазированные подземные трещинно-жильные воды глубоких зон тектонических нарушений. Вместе с тем при благоприятных гидрогеологических условиях выделяющиеся на небольших глубинах газы из сильно газонасыщенных подземных вод вновь в той или иной мере растворяются в слабоминерализованных водах неглубокой циркуляции и переносятся ими. Таким образом, подземные воды играют большую роль в перемещении природных газов, образуя газовые зоны в осадочной толще Балейского грабена в зависимости от его геологических и гидрогеологических условий.

С верхним горизонтом грунтовых гидрокарбонатно-кальциевых вод ( $M = 0,1-0,3$  г/л), приуроченных к рыхлым четвертичным отложениям депрессии (см. табл. 13, пробы № 1355, 1740 и др.), связаны газы (в см<sup>3</sup>/л): азот 1,6-16,5; углекислый газ 0,1-1,3; метан 0,08-0,4; водород 0,08. Область распространения этих газов, по преобладанию газа, можно охарактеризовать как верхнюю азотную зону. Она отличается активным водо- и газообменом с поверхностью. Глубина распространения этой зоны (20-30 м) зависит от глубины залегания водонепроницаемого слоя глинистых продуктов выветривания коренных горных пород и слоя островной многолетней мерзлоты.

С подземными гидрокарбонатно-натриевыми трещинными водами

коренных осадочных пород грабена ( $M = 0,4 \pm 0,9$  г/л) связаны углекисло-азотные газы. Распространение этой газовой зоны определяется глубиной залегания фундамента депрессии. Водо- и газообмен этой зоны, перекрытой почти непроницаемыми глинистыми продуктами выветривания коренных пород и слоем многолетней мерзлоты, с поверхностью затруднен. Состав растворенных газов в слабоминерализованных содовых водах приведен в табл. 13 (пробы 2, 5, 6<sup>a</sup>, 16, 306). Присутствие сероводорода в этой зоне указывает на восстановительную обстановку и является характерной особенностью данных вод.

С высокоминерализованными ( $M$  до 8,1 г/л) трещинно-жильными водами также гидрокарбонатно-натриевого типа, приуроченными к зонам тектонических нарушений (в основном к жильным трещинам), связаны локальные зоны углекислых газов. Подземные воды этих зон отличаются наибольшей газонасыщенностью до 2,6 г/л (см. табл. 11). В этих водах обнаружены также в незначительных количествах азот и следы метана, достигающего в отдельных случаях 3-4 см<sup>3</sup>/л.

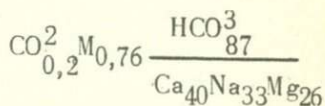
При наличии гидравлической связи разных водоносных горизонтов возможно смешение растворенных газов различных газовых зон. Так, например, вследствие проникновения грунтовых вод в коренные породы грабена, в трещинно-жильных водах юго-западной части Южного рудного узла (горизонт 107 м) обнаружены в больших количествах ионы Са и Mg, характерные для вод верхнего горизонта. Среди растворенных в этих водах газов отмечено наряду с азотом, содержание которого соответствует верхней азотной газовой зоне, повышенное содержание углекислого газа (табл. 23).

Таблица 23

Характеристика проб

№ пробы	Место отбора пробы воды	Газовый состав (без O <sub>2</sub> и N <sub>2</sub> воздуха), см <sup>3</sup> /л		
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>
1	Горизонт 107 м, штрек по жиле № 1-северо-восток, в 131 м от квершлага № 2	29,3	Следы	12,7
2	Горизонт 107 м, штрек по жиле № 1 юго-запад, в 34 м от квершлага № 2	11,0	0	6,7

Примечание. 1. Солевой состав воды



2. Водород отсутствует.

Из сказанного ясно видна связь между растворенными газами и соевым составом вод (табл. 24). Так, с гидрокарбонатно-кальциевыми грунтовыми водами неглубокой зоны циркуляции связана азотная газовая зона. К слабоминерализованным подземным водам гидрокарбонатно-натриевого состава приурочена зона преобладающего развития углекисло-азотных газов. Восстановительная среда, характерная для

Таблица 24

Среднее содержание природных газов в подземных водах Балейского грабена

Водоносный горизонт	Тип воды и минерализация, г/л	Газовый состав (без $O_2$ и $N_2$ воздуха), см <sup>3</sup> /л					Зона растворенных газов
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	
Грунтовые воды рыхлых четвертичных отложений	Гидрокарбонатно-кальциевый, минерализация до 0,3	0,7	0,2	0,02	10,1	0	Азотная
Подземные трещинные воды (напорные) осадочных пород, выполняющих грабен	Гидрокарбонатно-натриевый, минерализация до 0,9	4,5	0,03	0,05	22,4	0,1	Углекислоазотная
Подземные трещинно-жилые воды, приуроченные к тектоническим нарушениям, кварцевым жилам	То же,	768,4	0,8	0	13,0	Следы	Углекислая (локальная)

этой зоны, фиксируется наличием сероводорода. Локальная зона развития углекислого газа приурочена к подземным высокоминерализованным трещинно-жилым водам гидрокарбонатно-натриевого состава [58].

## ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ГАЗОНОСНОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Аналогичные описанным выше углекислые газовыделения, связанные с холодными минеральными источниками, имеются на соседних с Балейскими месторождениями источниках: Джидинском, Ургучанском, Швиинском, Жидкинском, Аркиинском, Налгачинском и др. Эти источники расположены в пределах Борзовочного хребта, в строении которого принимают участие и древнечетвертичные базальты, образующие горизонтальные покровы в долине р. Даи и в междуречье Онона и Аги [47]. Поля развития молодых базальтов отмечаются различными исследователями во многих местах Забайкалья [59, 60-62 и др.] Часто к этим районам приурочено развитие холодных минеральных вод, газифицированных углекислотой. В то же время в других районах Забайкалья, например в верховьях рек Ингоды, Чикоя, Онона, газовыделения представлены преобладающими азотными струями.

Для выяснения причин и основных закономерностей распространения газовыделений на территории Забайкалья, а также их связи с геологическим строением была составлена схема основных газовыделений рассматриваемой территории на основе структурно-тектонического районирования Забайкалья по М.С. Нагибиной [1]. На схеме (рис. 24) видно, что природные газопроявления Забайкалья группируются в некоторые закономерно расположенные области. Прежде чем перейти к характеристике этих газопоявлений и к объяснению причин такого размещения, следует отметить, что природные газы, выделяющиеся на рассматриваемой территории, подразделяются по химическому составу на три главных типа: углекислый, азотный и углеводородный [48, 63 и др.]. Главное внимание будет уделено только характерным для Забайкалья типам газопоявлений — азотному и углекислому. При анализе материалов (опубликованных) по газоносности рассматриваемой территории, а также по прилагаемой схеме пространственного размещения этих газопоявлений на территории Забайкалья хорошо видно закономерное как площадное, так и качественное размещение здесь газопоявлений.

Азотные газовыделения, связанные с термальными минеральными источниками, приурочены к двум областям — Восточному Прибайкалью и западной части Восточного Забайкалья (верховья рек Ингоды, Чикоя, Онона). На всей остальной территории Забайкалья отмечаются выходы углекислого газа, связанные с холодными минеральными водами.

Сопоставляя схему тектонического районирования рассматриваемой территории со схемой распространения на ней газопоявлений, можно видеть, что тот или иной тип газовыделений Забайкалья не имеет какой-либо приуроченности к определенным структурно-тектоническим областям. Так, в пределах области развития байкалитид можно наблюдать как азотные, так и углекислые газопоявления. То же самое можно видеть и на юге Забайкалья, в области развития герцинской складчатости. В то же время, как уже отмечалось выше, распределение углекислых и азотных газовых источников в Забайкалье приурочено

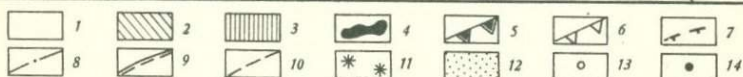
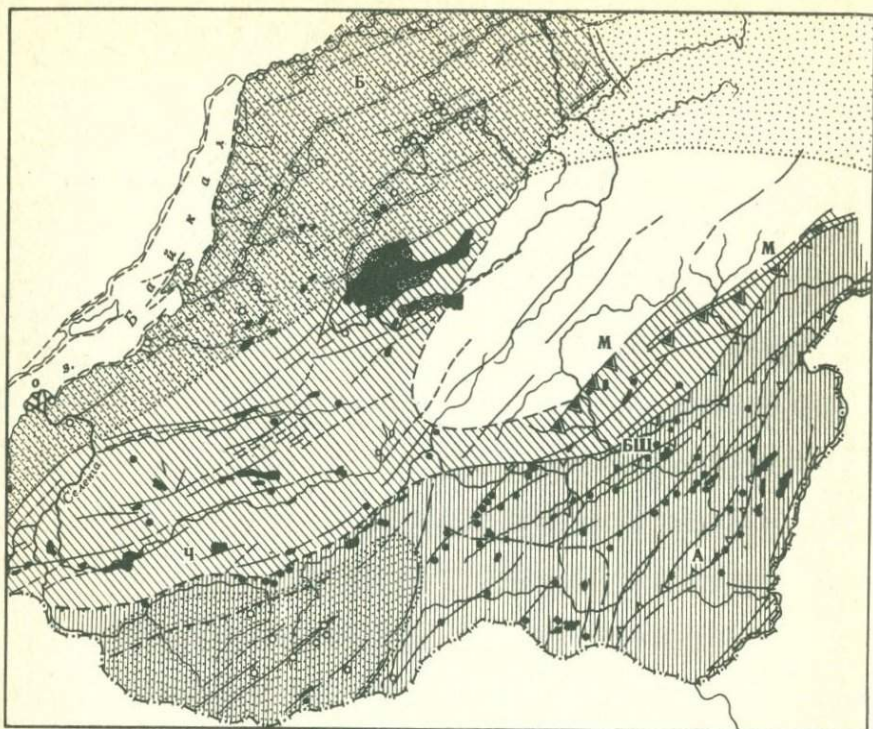


Рис. 24. Схема газопроявления Забайкалья

1 - область нижнепротерозойской складчатости, нерасчлененная; 2 - область байкальской складчатости, нерасчлененная; 3 - область герцинской складчатости, нерасчлененная; 4 - кайнозойские базальты; 5 - длительно развивающиеся глубинные разломы, заложенные в верхнем протерозое и рифее; 6 - длительно развивающиеся глубинные разломы, заложенные в нижнем палеозое; 7 - длительно развивающиеся глубинные разломы, заложенные в среднем палеозое; 8 - верхнепалеозойские разломы; 9 - мезозойские разломы; 10 - кайнозойские разломы; 11 - вулканические аппараты центрального типа, кайнозойского возраста; 12 - площади новейших тектонических движений (сейсмоактивные зоны - по Н.А. Флоренсову и С.Л. Соловьеву); 13 - проявления азотных газовых струй; 14 - выходы углекислого газа. Б-Баргузинский разлом, Ч-Чикойский разлом, М - система краевых разломов Монголо-Охотского пояса, БЩ - Боршовочный разлом, А - Приаргунский разлом.

к определенным зонам, отличающимся специфическими геологическими чертами, проявившимися в новейшее время. Эти зоны расположены территориально в пределах различных по возрасту структурно-тектонических областей. На прилагаемой схеме видно, что зоны развития азотных газовых источников, связанных с термами, локализируются в пределах байкальской и герцинской складчатых областей на площадях, характеризующихся повышенной сейсмической активностью, обусловленной проявлением новейших тектонических движений [61, 64]. Молодая тектоника проявилась здесь в виде поднятий и опусканий отдельных участков земной коры, образования впадин байкальского типа, сопровождавшихся развитием юных крупных глубинных разломов типа сбросов [65, 66].

Выходы углекислого газа, как и холодные минеральные источники характерны для площадей, где новейшие тектонические движения сопровождались молодыми магматическими процессами (в основном внедрением кайнозойских базальтов).

Все изложенное выше подтверждает вывод о возможной генетической связи газопроявлений Забайкалья главным образом с новейшей тектоникой рассматриваемой территории. Причем специфический характер основных проявлений неотектонических движений в тех или иных зонах огромной территории Забайкалья обусловил образование определенных типов газовыделений. Так, происхождение углекислого газа связано, вероятно, с постмагматическими процессами, протекающими на глубине, а образование азотных струй терм — с наличием юных протяженных сбросов глубокого заложения [20, 41].

Многими исследователями было отмечено, что газопроявления Забайкалья, так же как и минеральные источники, прослеживаются не беспорядочно, а по определенным направлениям, соответствующим простиранию тектонических нарушений на глубине. Это позволило в свое время Н.И. Толстихину выделить группы минеральных источников, характеризующихся определенным газовым составом, в отдельные гидроминеральные линии (Борщовочная, Чикойская, Олентуйская, Газимурская и др.). Приуроченность минеральных источников к линейно расположенным тектоническим нарушениям четко вырисовывается и на схеме газопроявлений Забайкалья. Так, например, с протяженным Верхне-Ангарским сбросом связаны выходы термальных источников, газирующих азотом. К Северо-Муйскому сбросу, ограничивающему с юго-востока Верхне-Ангарскую впадину, приурочены азотные газопроявления № 1 и 2. Термальные источники, выделяющие азот, приурочены к очень протяженному Баргузинскому сбросу. Со сбросами восточного побережья оз. Байкал также связаны выходы природного газа. Группа выходов углекислого газа правобережья р. Чикой тяготеет к глубинному разлому, прослеживаемому вдоль северной окраины Чикойской депрессии. Жергойская группа минеральных углекислых источников также приурочена к единой линии разлома, проходящего в северо-восточном направлении по правобережью Жергоя.

Выходы углекислого газа Ингодино-Читинской гидроминеральной линии связаны с системой нарушений, проходящих вдоль р. Ингоды. По мнению Н.И. Толстихина, минеральные углекислые источники

Дарасунской, Олентуйской, Шивандинской гидроминеральных линий приурочены к одной системе тектонических нарушений соответственно меридионального, северо-восточного и широтного простираний. С крупным Борщовочным нарушением северо-восточного простирания также связана группа выходов углекислого газа — Дая-Ундинская гидроминеральная линия.

Какова же роль различных тектонических нарушений в распределении природных газов на территории Забайкалья? Древние крупные глубинные разломы и сопровождающие их более мелкие тектонические нарушения, к которым приурочены выходы углекислого газа, — основные пути миграции к поверхности этого газа, образующегося на глубине в результате постмагматических процессов. Современные же протяженные крупные сбросы огромной глубины заложения (о чем свидетельствует температура терм), с которыми связаны азотные газопроявления, являются прежде всего причиной образования азотных струй, а затем уже путями их миграции к дневной поверхности. На территории Забайкалья, безусловно, существуют газопроявления смешенного характера (азотно-углекислые, углекисло-азотные), которые большей частью приурочены к границам выделенных газовых зон [18].

Для безопасного ведения горных работ в рудниках с устойчивыми выделениями природных газов большое значение имеет определение притока газа в горные выработки. Предлагаемый некоторыми исследователями метод подсчета газообильности рудников Балейских месторождений основывается на том, что углекислый газ образуется в результате взаимодействия подземных подкисленных вод и карбонатов, заключенных в породах депрессии (М.С. Апакова, 1954 г.). Предусматривается, что количество газа, поступающего в горные выработки, пропорционально объему вынудой породы.

На наш взгляд, данная методика определения газообильности в условиях месторождений балейского типа должна быть пересмотрена, так как основана на неправильном выводе о происхождении рудничного газа. Как уже было сказано выше, образование углекислого газа Балейских месторождений связано с глубинными постмагматическими процессами. Пути миграции газа к поверхности главным образом приурочены к трещиноватым тектонически ослабленным зонам депрессии. К этим же зонам приурочен в основном рудный жильный комплекс месторождений. В процессе проходки горных выработок пересекаются различные по газопроницаемости трещиноватые зоны, что и обуславливает газообильность рудников в тот или иной период. Длительность же поступления газовых струй в рудничную атмосферу по газопроницаемым зонам приводит к нарастанию газообильности выработок по мере их проходки. Таким образом, определение газообильности горных выработок будет зависеть главным образом от количества газопроводящих тектонических нарушений, пересеченных горной выработкой, и дебита газа, поступающего по этим нарушениям. Поступление газа из раздробленной породы при проходке горных выработок в данном случае имеет второстепенное значение. Несомненно, что такая трактовка происхождения углекислого газа должна привести к применению соответствующей методики определения газообильности горных выработок месторождений балейского типа. Эта методика должна предусматривать главным образом подсчет газообильности в зависимости от количества газопроводящих тектонических нарушений, пересеченных горной выработкой, и дебита газа, поступающего по этим нарушениям.

На наш взгляд, определенный практический интерес может представить продолжение изучения состава газов, заключенных в рудоносных кварцах Балейских месторождений. Это позволит получить дополнительную характеристику гидротермальных растворов, определить состав летучих компонентов, принимавших участие в гидротермальном процессе,

выявить последовательность поступления растворов и установить примерные пределы температуры гидротерм и т.д.

Выше уже говорилось, что количественное соотношение водорода и углекислого газа в различных генерациях жильного кварца месторождений может быть использовано для определения температуры гидротерм. Сопоставление полученных данных по газоносности исследуемого района с материалами по Камчатке позволяет предположить, что начальные порции гидротерм Балейских месторождений, с которыми связаны первые генерации кварца, имели температуру около  $400^{\circ}\text{C}$ . Температура последующих порций растворов (в том числе и рудоносных), видимо, соответствовала  $350\text{--}250^{\circ}\text{C}$ . Последние порции гидротерм (последний кварц) имели, по всей вероятности, температуру ниже  $200^{\circ}\text{C}$ . Конечно, эти приближенные температурные пределы требуют проверки и должны быть уточнены последующими работами в этом направлении. В комплекс таких работ должны быть включены различные методы исследований, дополняющие друг друга. Например, большой интерес представляют работы Н.П. Ермакова и др. [67 - 69] по изучению газожидких включений в различных минералах, позволяющие определить температуру и усредненное давление в момент образования этих минералов, а иногда и возраст их образования.

Известно, что непосредственному наблюдению гидротермальные процессы в природе недоступны. Судить о ходе этих процессов можно лишь по их конечным результатам: минералам рудных жил и околожильных ореолов, геологическому положению рудных тел. Поэтому до сих пор остаются дискуссионными вопросы, касающиеся происхождения гидротермальных месторождений. В частности, одним из них является вопрос о формах переноса минеральных веществ из магматических расплавов. Среди различных толкований, объясняющих этот процесс, существует мнение о транспортировке вещества в газообразной фазе [70-73]. Сравнительно недавно на страницах переводной литературы была опубликована статья Р.М. Гаррелса и Д.Х. Рихтера, в которой поставлен вопрос: "Может ли углекислота играть роль рудообразующего флюида в условиях небольших глубин?" [74]. Эти авторы, исследуя некоторые свойства  $\text{CO}_2$  при различных соотношениях давления, объема, температуры, доказывают, что  $\text{CO}_2$  при давлениях, соответствующих сравнительно небольшой глубине, может быть жидкостью, образовывать самостоятельную фазу в водном растворе и переносить рудообразующие элементы.

Присутствие значительных объемов углекислого газа во всех исследованных образцах гидротермального кварца Балейских месторождений, а также миграции этого газового компонента вдоль трещиноватых кварцевых жил позволяют поставить вопрос о выяснении роли  $\text{CO}_2$  в процессе гидротермального рудоотложения. Разумеется, это потребует еще более детальных геохимических исследований газоносности золоторудных месторождений балейского типа.

При изучении характера и путей миграции газов в пределах Балейского грабена была выявлена приуроченность основных выделений сво-

бодного углекислого газа к зонам трещиноватости, связанным с тектоническими нарушениями. Учитывая, что с этими же тектоническими нарушениями часто связаны и золотоносные кварцевые жилы, была проведена опытная газокерновая съемка для поисков слепых рудных тел [75, 76]. Первостепенной задачей при газовой съемке являлось подтверждение наличия повышенных содержаний углекислого газа в подпочвенном воздухе, непосредственно над тектоническими нарушениями. С этой целью на площади с детально изученным геологическим строением (Южный рудный узел) вкрест простирания структур был заложен ряд неглубоких (до 2 м) скважин (через 100 м), из которых отбирались для анализа пробы подпочвенного воздуха. В результате было выяснено, что данные газового анализа, сопоставленные с геологическим профилем, отличились максимальными значениями  $\text{CO}_2$  непосредственно над нарушенными зонами (рис. 25).

В дальнейшем для более полной характеристики газового режима подпочвенных отложений газовая съемка постоянно дублировалась газокерновой. При газокерновой съемке определяется содержание газа, поглощенного породой, в отличие от газовой съемки, где фиксируется свободный подпочвенный газ. Газокерновая съемка может проводиться и на влажных участках, где обычная газовая съемка сильно затруднена или не применима [77].

Опытные площадные газокерносьемочные работы проводились по следующей методике. Вкрест простирания геологических структур через 150–200 м закладывались профили, по которым с интервалом в 50 м бурились скважины глубиной до 2 м. В отдельных случаях с целью контроля расстояние между профилями сокращалось до 50–100 м, а между скважинами – до 25 м. Бурение скважин производилось вначале ударно-вращательным способом вручную, затем было применено бурение при помощи опытного образца механического пробоотборника МП-1, сконструированного КБ МГ СССР (Н.Н. Мотыль, Б.С. Минкин, А.Г. Черных). Пробоотборник МП-1 типа бензомоторной пилы "Дружба", снабженный комплектом различных шнеков диаметром 66, 92 мм и др., позволял в течение 10–15 мин. перебурить скважину и произвести отбор керна. Применение МП-1 значительно повысило производительность работ.

Из пробуренных скважин отбирались образцы керна, затем скважины герметизировались и после выброса воздушной смеси, равной объему "вредного пространства", из них откачивались пробы подпочвенного воздуха трубочным пробоотборником конструкции В.А. Соколова [78]. Пробы отбирались в бутылки, затвором в которых служил насыщенный раствор поваренной соли. Анализ свободного и извлеченного из керна газа производился на газоаналитическом приборе ВТИ в полевой лаборатории. По данным анализа строились графики содержаний углекислого газа (свободного в процентах и сорбированного в кубических сантиметрах на 1 кг), которые затем сопоставлялись с геологическим строением участков.

Опытная площадная газокерновая съемка проводилась на Южном и Северо-Западном участках грабена. Здесь отложения балеической свиты перекрыты наносами мощностью до первых десятков метров. Всего было пробурено 800 скважин на 16 профилях.



Анализируя результаты съемки, было выявлено, что на каждом из профилей отмечаются участки повышенных содержаний углекислого газа в подпочвенном воздухе до 3-4% (иногда 11%) при фоне, равном 0,6-0,8%, и 20-50 см<sup>3</sup>/кг даже 130 см<sup>3</sup>/кг - в керне при газовом фоне, достигающем 5-10 см<sup>3</sup>/кг.

В большинстве случаев повышенные содержания CO<sub>2</sub> в пробах подпочвенного воздуха дублируются повышенным содержанием его в керне. Выявленные при газовой съемке аномалии CO<sub>2</sub> имеют контрастный и закономерный характер и приурочены к определенным линиям (рис. 26). Система таких линий ориентирована в близмеридиональном, северо-восточном и северо-западном направлениях. Наличие аномалийных газовых полос и их линейное простирание позволяют сделать вывод, что зоны повышенных концентраций газа соответствуют дизъюнктивным нарушениям, являющимся газоподводящими путями. Следовательно, системе линейных газовых аномалий соответствует система тектонических нарушений той же ориентации. Последнее подтверждается сопоставлением результатов газовой съемки с достоверными геологическими данными (рис. 27, 28), где отчетливо выражена приуроченность большинства выделенных аномалийных осей к тектоническим нарушениям.

Чрезвычайно большие расстояния между профилями во многих случаях не позволяют однозначно выбрать направление той или иной ориентации.

Первый опыт проведения площадной газокерновой съемки в столь сложно тектонически нарушенном районе показал, что для построения достоверных структурных карт аномалийных содержаний CO<sub>2</sub> необходимо сократить расстояние между профилями и приблизить сетку опробования к квадратной. Таким образом, становится очевидным, что принципиальная возможность использования геохимического метода - газокерновой съемки - для обнаружения и прослеживания тектонических нарушений в пределах Балейского грабена доказана и не вызывает сомнений. Приуроченность рудных тел месторождений к разрывным нарушениям делает очень важным изучение дизъюнктивной тектоники рудного поля. Однако выявление зон тектонических нарушений в районе исследований связано с большими трудностями, обусловленными тем, что коренные отложения перекрыты мощными наносами. Эта задача в большинстве случаев не может быть решена и геофизическими методами, так как зоны тектонических нарушений, как правило, не отличаются по физическим свойствам от вмещающих мезозойских отложений. Главным методом поисков рудных тел в пределах Балейского рудного поля по-прежнему остается дорогостоящее колонковое бурение.

Сравнительно небольшой объем проведенных опытных газосъемочных работ еще не позволяет сделать окончательных выводов о возможностях и значении этого геохимического метода при золотопоисковых работах. Но уже сейчас можно сказать, что в условиях месторождений балейского типа метод газокерновой съемки может оказаться весьма перспективным. Экономическая эффективность применения этого метода газовой съемки бесспорна, так как она исключит необходимость проведения большого количества дорогостоящих буровых работ.

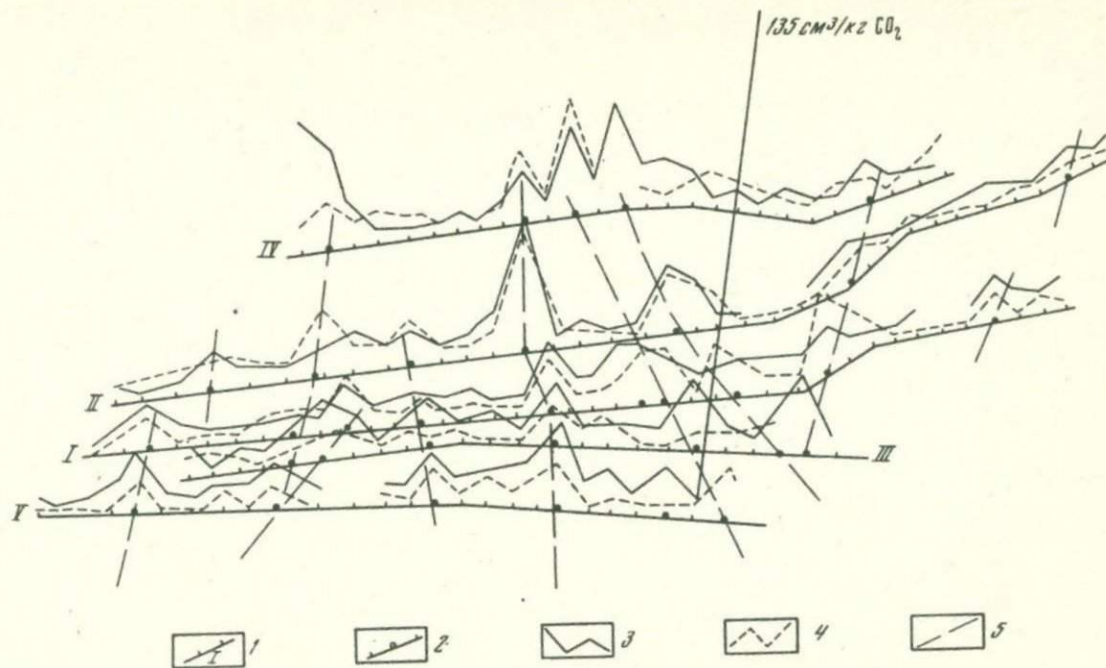


Рис. 26. Корреляционная схема графиков  $\text{CO}_2$  по профилям газовой съемки. Северо-Западный участок

1 - профили газовой съемки; 2 - скважины отбора проб керна и подпочвенного воздуха; 3 - содержание  $\text{CO}_2$  в керна (в 1 см - 10 см<sup>3</sup>/кг); 4 - содержание  $\text{CO}_2$  в подпочвенном воздухе (в 1 см - 2%  $\text{CO}_2$ ); 5 - линии повышенных значений  $\text{CO}_2$  (предполагаемые тектонические нарушения)

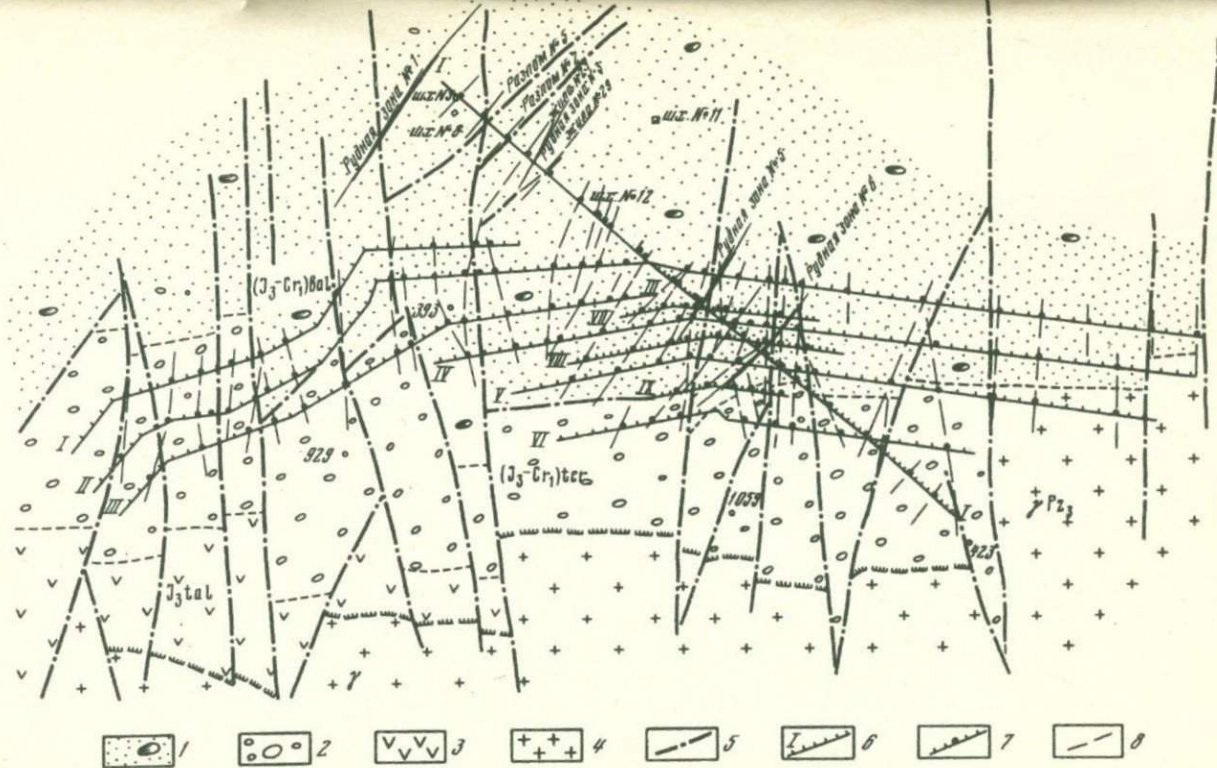


Рис. 27. Геологическая карта Южного участка

1 - конгломерато-песчанниковые отложения балейской свиты; 2 - конгломераты тергенской свиты; 3 - порфириты талангуйской свиты; 4 - ундинские гранитоиды; 5 - тектонические нарушения; 6 - профили газокерновой съемки; 7 - скважины опробования с повышенным значением углекислого газа; 8 - линии повышенных содержаний углекислого газа (предполагаемые тектонические нарушения)

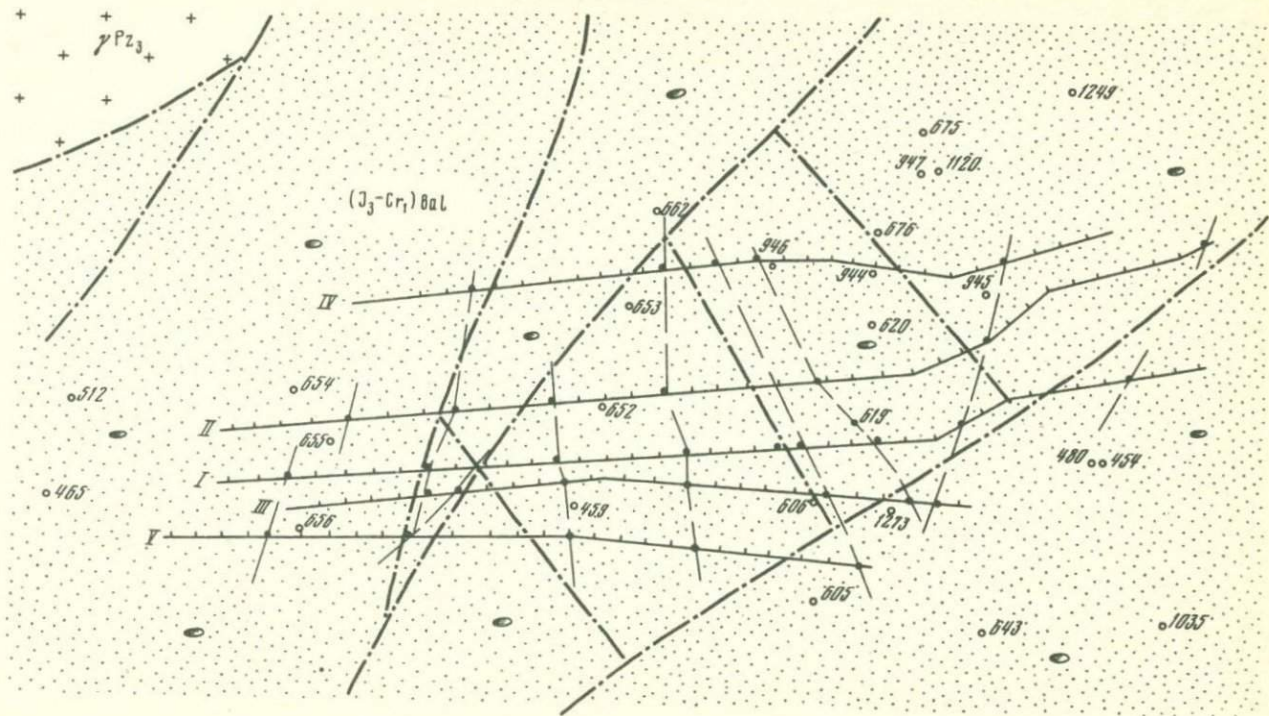


Рис. 28. Геологическая карта Северо-Западного участка  
Условные обозначения см. на рис. 27

1. М.С. Нагибина. История развития структур Монголо-Охотского пояса. - Докл. сов. геологов на XXI сессии Межд. геол. конгресса. М., ГОНТИ, 1960.
2. Н.В. Петровская, П.С. Бернштейн, С.Г. Мирчинк, М.Г. Андреева. Геологическое строение, минералогия и особенности генезиса золоторудных месторождений Балейского рудного поля (Восточное Забайкалье). - Труды ЦНИГРИ, вып. 45, ч. I и II 1961.
3. П.С. Бернштейн. Геологическое строение мезокайнозойских депрессий Ундино-Ононского и Ундино-Даинского районов Восточного Забайкалья и закономерности размещения оруденения балейского типа в их пределах. М., - Труды НИГРИзолото, вып. 24, 1957.
4. В.П. Новик-Качан. Условия формирования углекислых содовых вод Балейского рудного месторождения. - Сов. геол., 1958, № 3.
5. Н.И. Толстихин, Л.М. Орлова. Об одном типе углекислых вод в Забайкалье. - Записки Ленинград. горного ин-та им. Г.В. Плеханова, т. XXXIV, вып. 2. Л., Углетехиздат, 1958.
6. Справочник гидрогеолога под общей редакцией М.Е. Альтовского. М., Госгеолтехиздат, 1962.
7. Н.И. Толстихин. О типизации минеральных вод Забайкалья и Монгольской Народной Республики. - Сб. "Второе совещание по подземным водам и инженерной геологии Восточной Сибири", вып. 1. Чита, 1958.
8. Н.Н. Куликова. О газоносности Балейских рудных месторождений. - Изв. бузов, геол. и разведка, 1961, № 4.
9. А.И. Кравцов. О геохимии природных газов. - Труды МГРИ, т. XXXIII 1958.
10. М.М. Элинсон. К вопросу о методике изучения газосодержания в горных породах. - Изв. АН СССР, отд. техн. наук, 1949, № 2.
11. М.М. Элинсон. Шаровая вакуумная мельница. - Заводская лаборатория, 1949, № 6.
12. М.М. Элинсон. Аппаратура для извлечения газа из бурового раствора. - Заводская лаборатория, 1955, т. 21, № 3.
13. А.А. Черепенников. Руководство по опробованию и анализу природных газов. М., Госгеолтехиздат, 1951.
14. В.А. Соколов. Анализ газа. М., Гостоптехиздат, 1950.
15. М.М. Элинсон. Газоанализатор для экспресс-анализа углеводородов в природном газе. - Труды совещ. по геохимич. методам (апрель 1959 г.). М., Изд-во АН СССР, 1959.

16. А.А. Карцев, З.А. Табасаранский, М.И. Суббота, Г.А. Могилевский. Геохимические методы поисков и разведки нефтяных и газовых месторождений. М., Гостоптехиздат, 1954.
17. В.А. Соколов. Прямые геохимические методы поисков нефти. М., Гостоптехиздат, 1947.
18. Н.Н. Куликова. Газоносность Балеийских рудных месторождений и некоторые закономерности распределения природных газов Забайкалья. - Изв. вузов, геол. и разведка, 1964, № 6.
19. В.И. Вернадский. О классификации природных газов. - Сб. "Природные газы", вып. 2. Л., 1931.
20. В.В. Белоусов. Очерки геохимии природных газов. Л., ОНТИ, 1937.
21. А.Л. Козлов. Проблемы геохимии природных газов. М., Гостоптехиздат, 1950.
22. В.А. Соколов. Миграция газа и нефти. М., Изд-во АН СССР, 1956.
23. А.И. Кравцов. Газоносность Хибинских апатитовых месторождений. - Сб. "Вопросы геологии, минералогии и петрографии Хибинских тундр", М.-Л., Изд-во АН СССР, 1961.
24. В.П. Новик-Качан. О происхождении  $\text{CO}_2$  в подземных водах. - Сов. геол., 1956, № 56.
25. С.Г. Мирчинк. Стратиграфия и условия накопления осадков мелового возраста в Балеийской депрессии (Восточное Забайкалье). Труды ЦНИГРИ, вып. 25, кн. 2, 1958.
26. А.А. Смирнов. Генезис  $\text{CO}_2$  в современных углекислых подземных водах. М., - Сов. геол., 1958, № 1.
27. В.М. Степанов. Некоторые закономерности в распределении минеральных источников Забайкалья. - Сб. "Вопросы гидрогеол. и инж. геол.", № 14, М., Изд-во Гостеолтехиздат, 1956.
28. А.В. Жевлаков. К вопросу о природе  $\text{CO}_2$  углекислых подземных вод (по поводу статьи А.А. Смирнова "О природе  $\text{CO}_2$  углекислых подземных вод". - Сов. геол., 1955, № 44. Сов. геол., 1956, № 56.
29. А.М. Овчинников, В.В. Иванов, Л.А. Яроцкий. О происхождении углекислого газа минеральных вод (по поводу взгляда А.А. Смирнова на природу  $\text{CO}_2$ ). - Сов. геол., 1958, № 1.
30. В.К. Кадыров, К.К. Казиев. К вопросу о происхождении  $\text{CO}_2$  в углекислых источниках Каракиче и Джарташа. - Сов. геол., 1962, № 12.
31. И.Я. Пантелеев, Ю.П. Масуренков, С.И. Пахомов. О происхождении углекислого газа в подземных водах. - Изв. АН СССР, серия геол., 1962, № 6.
32. М.И. Врублевский. Об образовании и распространении на территории СССР углекислых вод. - Вестник ЛГУ, серия геол. и геогр., 1961, № 4.
33. В.А. Обручев. Новые черты кинетики и пластики неотектоники. - Изв. АН СССР, серия геол., 1948, № 5.
34. А.М. Овчинников. Условия формирования месторождений углекислых вод. - Сб. "Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР". Изд-во Мин-ва здравоохранения СССР, 1960.

35. Л.А. Башарина. Эксгаляции побочных кратеров Ключевского вулкана на различных стадиях остывания лавы. - "Вулканизм Камчатки и некоторых других районов СССР". М., Изд-во АН СССР, 1963.
36. И.З. Иванов. Газы и возгоны побочных вулканов Ключевой сопки. - Вулканология, 1941, № 9.
37. С.И. Набоко. Вулканические эксгаляции и продукты их реакций. - Труды лабор. вулканол. АН СССР, вып. 16. М., 1959.
38. К.П. Флоренский. К вопросу об изучении вулканических газов. - Труды лабор. вулканол. АН СССР, вып. 13. М., 1958.
39. М.М. Васильевский, Н. И. Толстихин. Минеральный источник Аршан Тункинский. - Материалы по геол. и полезн. ископ. Вост. Сибири. Иркутск, № 2, 1930.
40. А.В. Львов, Г.Кропачев. Краткий отчет о результатах исследований "Аршана", произведенных по поручению Восточно-Сибирского отдела Географического общества и Общества врачей. - Известия Вост.-Сиб. отдела, 1909, т. 10.
41. М.П. Михайлов, Н.И. Толстихин. Минеральные источники и грязевые озера Восточной Сибири, их гидрогеология, бальнеохимия и курортологическое значение. - Сб. "Материалы по геол. и полезн. ископ. Вост. Сибири". Иркутск, вып. 2, 1946.
42. Л.В. Хмелевская. Глубинный водород и его роль в генезисе нефти. - Изв. АН СССР, серия геол., 1947, № 4.
43. А.А. Черепенников. Водород в природных газах. - Сборник, посвященный акад. В.И. Вернадскому, 1936.
44. А.И. Кравцов. Геологические условия газоносности угольных, рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых. М., Изд-во "Недра", 1968.
45. В.А. Соколов. Геохимия газов земной коры и атмосферы. М., изд-во "Недра", 1966.
46. Т.Л. Гинзбург-Карагичева. Биогенные факторы генезиса нефти и природных газов. - Сб. "Межд. геол. конгресс", т. XVII № 1, 1940.
47. В.П. Маслов, А.Д. Зиновкин. Геология бассейна р.Унды. - Сов. геол., 1941, № 3.
48. Н.И. Толстихин. Газы Восточного Забайкалья. М.-Л., Гос. научно-техн. геологоразведочное изд-во, 1932.
49. А.А. Сауков. Геохимия, М., Госгеолиздат, 1951.
50. А.И. Кравцов. Влияние геологических и гидрогеологических условий на газоносность угольных месторождений. М., Углетехиздат, 1951.
51. Л.А. Яроцкий. Основные закономерности образования сероводородных вод. - Труды совещ. курортных ин-тов по гидрогеол. минеральных вод (1958 г.). Изд-во Мин-ва здравоохранения СССР, 1960.
52. В.П. Савченко. Законы, управляющие системой жидкость + газы и их приложение для выяснения генезиса природных газов. - Сб. "Природные газы", № 11, Л., ОНТИ, 1936.

53. Н.Н. Куликова. О происхождении природных газов Балейских золоторудных месторождений. М., изд. ИГД им. А.А. Скочинского, 1966.
54. В.А. Соколов. Гелий и другие редкие газы, их добыча и применение. Л.-М., Гос. науч.-техн. нефт. изд-во, 1938.
55. В.И. Вернадский. Опыт описательной минералогии, т. 1, вып. 5. Л., 1934.
56. Спутник полевого геолога-нефтяника, т. П. Л., Гостоптехиздат, 1954.
57. В.И. Вернадский. История минералов земной коры, т. II. История природных вод, ч. 1, вып. 2. Л., ОНТИ, 1934.
58. Н.Н. Куликова. Влияние гидрогеологических условий на газоносность Балейских золоторудных месторождений. - Изв. вузов, геол. и разведка, 1968, № 8.
59. А.А. Арсеньев, Е.А. Нечаева. Геолого-петрографический очерк района курорта Дарасун (Центральное Забайкалье). - Сб. "Труды Геол. ин-та АН СССР", серия геол., вып. 128, № 49, 1951.
60. И.В. Лучицкий. О структурах Центрального Забайкалья. - Сов. геол., 1940, № 1.
61. Д.С. Соколов. Основные черты геологической истории Восточного Забайкалья. - Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы, отд. геол., т. XVIII (5-6). М., Изд-во АН СССР, 1940.
62. Н.А. Флоренсов. Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья. - Труды Вост. Сиб. филиала АН СССР, серия геол., вып. 19. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1960.
63. Ю.П. Деньгин. Прибайкалье и Забайкалье. - Сб. "Природные газы СССР". Под ред. В.Д. Голубятникова. Л.-М., ОНТИ НКТП СССР, 1935.
64. Н.А. Флоренсов. Некоторые вопросы тектоники Забайкалья. - "Труды Вост. - Сиб. филиала АН СССР", серия геол., вып. 1. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1954.
65. Е.В. Павловский. Тектоника Саяно-Байкальского нагорья. - "Изв. АН СССР", серия геол., 1956, № 10.
66. Л.И. Салоп. Геологическое строение и полезные ископаемые Байкальской горной области. - Сб. "Геологическое строение и полезные ископаемые Восточной Сибири". М., Изд-во АН СССР, 1958.
67. Н.П. Ермаков. Исследования минералообразующих растворов. Изд-во Харьков. ун-та, 1950.
68. В.А. Калюжный. Жидкие включения в минералах как геологический барометр. - Минерал. сборник Львовск. геол. об-ва, 1955, № 9.
69. М.М. Элинсон, В.С. Полюковский. Исследования газов в кристаллах кварца из Майданталя. - Изв. вузов, геол. и разведка, 1961, № 11.
70. Н.И. Хитаров. Паровая и газовая фазы системы кремнезем-вода. - Сов. геол., 1944, № 2.
71. Л.В. Сыромятников. Некоторые теоретические вопросы возникновения и развития гидротермальных растворов. - Изв. АН СССР, серия геол., 1955, № 3.

72. G. W. Morey. The solubility of solids in gases. – Econ. Geol., 1957, 52, N 3.

73. K. B. Krauskopf. The heavy metal content of magmatic vapor at 600°C. – Econ. Geol., 1957, 52, N 7.

74. Р. М. Гаррелс, Д. Х. Рихтер. Углекислота как рудообразующий флюид. – Сб. "Проблемы эндогенных месторождений", вып. 1. М., 1960.

75. Н. Н. Куликова. О применении газокерновой съемки для обнаружения слепых рудных зон в районе Балейских месторождений. – Изв. вузов, геол. и разведка, 1960, № 12.

76. Н. Н. Куликова. Опыт проведения газокерновой съемки с целью обнаружения золоторудных месторождений балейского типа. – Бюлл. ОНТИ МГ и ОН СССР, 1961, № 5, (33).

77. М. И. Суббота. Новая методика газокерновой съемки. – Сб. "Геохимич. методы поисков нефти и газа", вып. 1. М., Гостоптехиздат, 1952.

78. В. А. Соколов. Сборник работ по газовой съемке. – Труды Всес. конторы (треста) геофизич. разведок, вып. 14/21. М.–Л., ГОНТИ, 1936.

ПРЕДИСЛОВИЕ . . . . .	3
Глава 1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ . . . . .	6
Стратиграфия . . . . .	8
Магматизм . . . . .	12
Тектоника . . . . .	16
Глава 2. ГИДРОГЕОЛОГИЯ И МНОГОЛЕТНЯЯ МЕРЗЛОТА . . . . .	19
Глава 3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ . . . . .	35
Выбор объектов и целевая направленность работ . . . . .	35
Методика опробования . . . . .	36
Методика лабораторных работ . . . . .	36
Глава 4. ГАЗОНОСНОСТЬ РАЙОНА БАЛЕЙСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ . . . . .	40
Состав и содержание природных газов свободных выделений и растворенных в подземных водах грабена . . . . .	40
Газосодержание горных пород . . . . .	54
Интерпретация результатов исследований газоносности . . . . .	57
Глава 5. О ПРОИСХОЖДЕНИИ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ БАЛЕЙСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ . . . . .	73
Глава 6. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ОБУСЛОВИВШИЕ СОВРЕМЕННЫЙ ХАРАКТЕР ГАЗОНОСНОСТИ БАЛЕЙСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ . . . . .	86
Процессы газообразования в связи с историей геологического развития . . . . .	86

Влияние некоторых физических свойств пород грабена на газоносность месторождений . . . . .	87
Влияние гидрогеологических условий на газонос- ность месторождений . . . . .	94
Влияние геологических условий на газоносность месторождений . . . . .	97

Глава 7. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ГАЗОНОСНОСТИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ . . . . .	101
--	-----

ЛИТУРАТУРА . . . . .	109
----------------------	-----

Наталья Николаевна Куликова  
ГЕОХИМИЯ ГАЗОВ ЗОЛОТОРУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Утверждено к печати Институтом горного дела  
им. А.А. Скочинского

Редактор И.Н. Николаева  
Художественный редактор А.Н. Жданов  
Технический редактор Г.П. Каренина

Подписано к печати 10/XI-72 г. Формат 60 x 90 1/16  
Усл. печ. л. 7,25 + 0,25 вкл. Уч. изд. л. 7,2.  
Бумага офсетная № 2. Тираж 1300 экз.  
Т - 04293. Тип. зак. 1520  
Цена 72 коп.

Книга издана офсетным способом.

Издательство "Наука", 103717 ГСП,  
Москва, К-62, Подсосенский пер. 21  
1-я типография издательства "Наука",  
Ленинград, В-34, 9-я линия, 12.

72 коп.

1684

