

ПРИРОДНЫЕ ГАЗЫ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

553
Ф 88

А. И. Фридман



Книга должна быть возвращена не
позже указанного здесь срока

Количество предыдущих выдач _____

AM

ЗМ

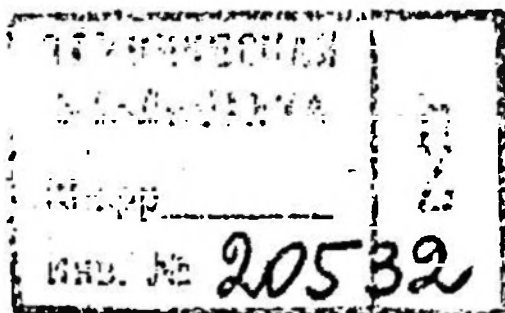
2005—1967

77 мая

А. И. Фридман

553
Ф088

ПРИРОДНЫЕ ГАЗЫ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
Москва, 1970

Природные газы рудных месторождений. Фридман А. И. 14., изд-во «Недра», 1970, 192 стр.

В работе приведен новый и впервые обобщен имеющийся материал по геологии и геохимии природных газов рудных месторождений как Советского Союза, так и зарубежных стран, описаны основные закономерности образования и распределения природных газов в зависимости от геолого-геохимических и структурно-тектонических условий, дана впервые разработанная классификация природных газов рудных месторождений и изложена методика изучения газоносности рудных месторождений.

Здесь обобщен также весь имеющийся материал по применению метода газовой съемки при поисках рудных месторождений, а также охарактеризованы новые данные по использованию отдельных газовых компонентов в качестве геохимических индикаторов для обнаружения рудных тел и решения отдельных геологических и геохимических задач.

Приведенный материал может помочь при решении вопроса о происхождении нефти.

Таблиц 7, иллюстраций 21, библиографических названий 136.

2—9—4

123—69

Фридман Александр Ильич

ПРИРОДНЫЕ ГАЗЫ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Редактор издательства *В. Н. Никитина*

Техн. редактор *В. В. Соколова*

Обложка художника *М. В. Носова*

Корректор *М. В. Дроздова*

Сдано в набор 29/VII 1969 г. Подписано в печать 4/II 1970 г. Т-02667
Формат 84×108¹/₃₂. Печ. л. 6,0 Усл. печ. л. 10,08 Уч.-изд. л. 10,52
Бумага № 3 Индекс 1—4—1. Заказ 1988/738-3. Тираж 1300 экз. Цена 1 р. 06 к.

Издательство «Недра». Москва, К-12, Третьяковский проезд, д. 1/19.
Типография № 32 Главполиграфпрома. Москва, Цветной бульвар. 26.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В геологической литературе отсутствует систематизированное описание природных газов рудных месторождений. Лишь в последнее время появились разрозненные статьи, описывающие газоносность отдельных месторождений полезных ископаемых, связанных с изверженными и метаморфическими породами, или случаи нахождения в них горючих газов. Вопросы геологии и геохимии природных газов изверженных и метаморфических пород рассматривались в посвященных образованию нефти монографиях А. И. Кравцова, В. А. Соколова, Н. А. Кудрявцева и некоторых других.

В настоящей работе сделана первая попытка обобщить накопленный фактический материал о составе, геологии и геохимии природных газов месторождений полезных ископаемых, связанных с изверженными и метаморфическими породами. В ней рассматривается газоносность лишь месторождений магматического и метаморфического происхождения и не затрагиваются осадочные рудные месторождения — марганцевые, бокситовые, железорудные и т. д.

Как и всякая первая попытка, эта работа, возможно, не лишена некоторых недостаточно обоснованных выводов и не совсем верного толкования отдельных фактов. Однако отсутствие каких-либо сводных работ по данному вопросу позволяет автору надеяться, что данная книга принесет определенную пользу. За все критические замечания автор будет весьма признателен.

Работа составлена главным образом на основе собственных наблюдений и выводов автора, в течение 15 лет занимающегося изучением данной проблемы, которая разрабатывается на кафедре литологии и геологии месторождений осадочных полезных ископаемых Московского геологоразведочного института им. С. Орджони-

кидзе под общим научным руководством профессора А. И. Кравцова. За указанный период автор собрал богатый материал по составу газов, их геологии и геохимии на ряде рудных месторождений Северного Кавказа, Норильского района, Балейских золоторудных и Хибинских апатитовых месторождений. Кроме того, были использованы данные, полученные Х. Ф. Джамаловой, А. П. Ван-Ван-Е, И. Ф. Линде, И. Н. Куликовой и М. М. Элинсон, материалы И. А. Петерсилье (КФ АН СССР), в течение ряда лет занимающегося вопросами геохимии природных газов и рассеянных битумов месторождений Кольского полуострова, материалы Н. С. Бескровного (ВНИГРИ) о газах алмазных месторождений Якутии и других исследователей, а также некоторые данные о составе газов зарудных рудных месторождений.

Автор приносит свою искреннюю благодарность профессору А. И. Кравцову и профессору В. А. Соколову за ценные советы и замечания.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с интенсивным освоением рудных месторождений, ростом добычи и обработкой глубоких горизонтов все чаще приходится сталкиваться с нахождением горючих газов в рудных телах и вмещающих их изверженных и метаморфических породах. Имеющиеся материалы убедительно свидетельствуют о том, что наличие значительного количества природных газов в рудных месторождениях явление не случайное, а довольно широко распространенное.

Изучением газов рудных месторождений в СССР занимаются лишь около 15 лет. За рубежом подобные систематические исследования до сих пор не проводятся.

Обычно объектом тщательных исследований служили газы нефтяных и затем (с конца XIX в.) угольных месторождений. Более того, вплоть до самого последнего времени общепризнанным было мнение, что рудные месторождения и вмещающие их изверженные и метаморфические породы «стерильны» в отношении углеводородных газов и подобные исследования не имеют практического значения.

Между тем изучение природных газов рудных месторождений представляет значительный интерес как в связи с решением такой важной и сложной проблемы, как происхождение нефти, так и с необходимостью разработки мероприятий, связанных с безопасным ведением горных работ в рудниках.

Совершенно был упущен из вида такой важный вопрос, как использование природных газов рудных место-

рождений в качестве поискового признака. Полученные в последнее время материалы указывают на возможность использования тех или иных газовых компонентов в качестве геохимических индикаторов при проведении поисково-разведочных работ и для решения отдельных вопросов геологического строения месторождений, образования и локализации рудных тел. Указанные вопросы весьма слабо освещены в печати в виде нескольких небольших статей В. С. Глебовской и С. С. Глебовского (1960), Н. Н. Куликовой (1961), А. И. Фридмана (1964, 1967) и некоторых других, почти не систематизированы и мало разработаны, несмотря на их большое значение и перспективность. Именно для данного вопроса, как, впрочем, и для всей проблемы геохимии природных газов рудных месторождений в целом, до настоящего времени справедливы слова В. И. Вернадского, сказанные им еще в 1912 г.: «Едва ли есть еще область каких-нибудь других равнозначных явлений, которая так мало обращала бы на себя внимания, вызывала бы так мало систематической работы».

Следует отметить, что природные газы рудных месторождений значительно отличаются от газов нефтяных, газовых и угольных месторождений, в частности, резким различием в составе, характере распределения, перемещении, приуроченности газовых скоплений и динамике газовыделений.

Кроме того, для газов рудных месторождений в ряде случаев отмечается тесная связь между составом газов и вещественным составом пород и руд, физико-химическими условиями рудообразования и т. д. Каждый тип рудных месторождений, расположенных в различных по геологическому строению районах, имеет свои специфические особенности, касающиеся состава газов и образования основных газовых компонентов. Тем не менее природные газы различных рудных месторождений обладают общими особенностями: зависимостью состава газов руд и вмещающих изверженных и метаморфических пород от температуры образования, нахождением основных количеств их в свободном состоянии в зонах разрывных нарушений и участках повышенной трещиноватости. В ряде случаев отмечается парагенезис отдельных газовых компонентов с металлами: ртутью, золотом, медью и т. д.

Слабо освещены в литературе вопросы методики изучения газоносности рудных месторождений. Она в значительной степени отличается от методики, применяемой при исследовании газов угольных и тем более нефтяных и газовых месторождений. Между тем специфические физические свойства руд, изверженных и метаморфических пород (небольшая пористость, в основном закрытого типа, практически ничтожная проницаемость монолитных разностей пород и руд и их крайне небольшая сорбционная емкость), сложность геологического строения месторождений и широкое развитие разрывной тектоники обуславливают необходимость применения специфической методики. Такая методика разработана в основном на кафедре литологии и геологии месторождений осадочных полезных ископаемых Московского геологоразведочного института им. С. Орджоникидзе и апробирована на ряде рудных месторождений Северного Кавказа, медно-никелевых месторождений Норильского района, Балейских золоторудных, Хибинских апатито-нефелиновых и других месторождениях.

Таким образом, условия образования горючих и других газовых компонентов в месторождениях магматического генезиса, их геология и геохимия до последнего времени слабо учитывались нефтяниками, но имеют существенное значение при рассмотрении вопросов генезиса и миграции нефти. Приведенный в книге материал даст возможность геологам, занимающимся поисками и изучением рудных месторождений, использовать природные газы в качестве одного из поисковых геохимических признаков для изучения различных вопросов геологического строения и образования рудных месторождений, а также позволит горнякам более правильно подходить к разработке мероприятий, связанных с безопасным ведением горных работ в рудниках.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИРОДНЫХ ГАЗАХ, УСЛОВИЯХ ИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

ФОРМЫ ПРОЯВЛЕНИЯ И СВОЙСТВА ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ

Природные газы представляют собой смесь газообразных элементов и соединений, образующихся в результате различных физико-химических процессов, протекающих в земной коре или мантии.

При благоприятных условиях 'рассеянных в массе пород газы собираются в пористых или трещиноватых участках, где образуют газовые скопления, или мигрируют к поверхности, создавая разнообразные газопроявления.

Соприкасаясь с подземными водами, природные газы частично или полностью растворяются в них, образуя единую циркулирующую систему. Вследствие этого подземные воды существенно влияют на распределение и перемещение природных газов в земной коре.

Выделения природных газов встречаются довольно часто в различной геологической обстановке. Особенно многочисленные газопроявления отмечаются в молодых горных областях, характеризующихся сильно расчлененным рельефом, вследствие чего газоносные пласты выведены на поверхность. Кроме того, большое значение в образовании газовых выходов на поверхность имеют многочисленные здесь разрывные нарушения. Реже газопроявления отмечаются в платформенных областях, где преобладает спокойный равнинный рельеф, значительно менее развиты разрывные нарушения, а газонос-

ные пласты перекрыты в большинстве случаев мощным чехлом непроницаемых пород.

Газопроявления на поверхности характеризуются различной интенсивностью и размерами — от практически незаметных, улавливаемых специальной аппаратурой, до мощных извержений грязевых вулканов. В ряде случаев природные газы поступают на поверхность вместе с подземными водами и выделяются из различного вида источников периодически (пульсация) — в виде отдельных редких пузырьков или постоянно — в виде непрерывных многочисленных струек, создающих впечатление кипящей воды. Мощные периодические выделения газов характерны для грязевых вулканов, которые в период извержения выносят большое количество газов — до 495 млн. м³ (Соколов, 1966), в основном углеводородного состава. В результате этого образуются конусы высотой в десятки метров. В частности, грязевой вулкан Кяниза-Даг (Азербайджанская ССР) имеет высоту 150 м, а площадь его конуса составляет 0,55 км² (Высоцкий, 1954).

Сухие выходы газов обнаружить гораздо труднее. Они могут быть зафиксированы лишь по запаху (в случае наличия газов, обладающих резким запахом), по шипящему или свистящему звуку (например, «шипуны» в угольных шахтах или рудниках), сопровождающему их выделение, а в зимнее время — по проталинам в снегу, обусловленным разностью температур струи выделяющегося газа и воздуха.

При изучении выходов природных газов определенное значение имеет их расположение. Они могут располагаться либо изолированно друг от друга или группами. Ориентированное расположение выходов может свидетельствовать о связи их с определенными пластами или приуроченности к определенным разрывным нарушениям и системам трещин.

Иные формы газопроявлений имеют место в вулканических областях. Они обусловлены различными стадиями деятельности вулканов — от пароксизма до затухания. В период извержений вулканы выбрасывают огромные количества высокотемпературных газов и водяных паров — до нескольких миллионов кубических метров за короткое время. Кроме центрального жерда, газы выделяются из трещин на склонах вулканических

конусов и непосредственно из потоков лав. Такие газо-выделения, продолжающиеся после окончания извержения, получили название фумарол (fuma — дым). В зависимости от температуры и состава газообразных продуктов фумаролы подразделяются на сольфатары и мофетты.

Различные газопроявления наблюдаются при бурении скважин и проходке горных выработок. При подсечении газоносных пластов или разрывных нарушений и трещиноватых зон скважинами в зависимости от давления в скоплениях газы могут выделяться через промывочную жидкость в виде пузырьков или струек и в отдельных случаях обуславливают фонтанирование и выбросы жидкости и газа.

Природные газы в горных выработках, вскрывших угольные, нерудные и рудные месторождения, выделяются непосредственно из полезного ископаемого, а также из трещин и полостей во вмещающих породах. В горных выработках возможны четыре вида газовыделения: 1) из полезного ископаемого (имеет важное значение для угольных шахт), 2) слабый фильтрационный ток со стенок выработок, 3) свободные выделения суфлярного типа и 4) быстрый процесс дегазации разрушенной взрывом породы. Последние три вида являются основными для рудников.

Индивидуальные газообразные компоненты, входящие в состав природных газов, обладают определенными химическими и физическими свойствами (табл. 1). В природных газах присутствуют: углекислый газ, кислород, азот, смесь углеводородных соединений, водород, сероводород, сернистый газ, окись углерода, аммиак и редкие газы (аргон, криптон, ксенон, радон, неон и гелий).

Углекислый газ. Максимальные количества углекислого газа отмечаются в вулканических газах и минеральных источниках, где его содержание в ряде случаев достигает 99%. Углекислый газ, содержащийся в водах, повышает их растворяющие свойства и способствует увеличению минерализации. Безвредное содержание углекислого газа в рудничном воздухе — 0,5%, при концентрации 20—25% он смертелен.

Азот широко распространен во всех породах, куда он попадает главным образом из атмосферы: Однако изве-

Таблица 1

Основные физические свойства газов*

Химическая формула газа	Молекулярный вес	Относительный удельный вес (отношение веса газа к уд. весу воздуха) при $P=760$ мм рт. ст., $t=0^\circ\text{C}$	Вес 1 л при $t=0^\circ\text{C}$, $P=760$ мм рт. ст., г	Температура плавления, $^\circ\text{C}$	Температура кипения при $P=760$ мм рт. ст., $^\circ\text{C}$	Критическая температура, $^\circ\text{C}$	Критическое давление, ат	Коэффициент теплопроводности газов, $K \cdot 10^4$ $\frac{\text{кал}}{\text{см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{C}}$	Растворимость в дистиллированной воде при 20°C , л/л
CO_2	44,010	1,529	1,971	-56,16	-78,5	+32	73	351	0,878
N_2	28,016	0,967	1,250	-209,8	-195,8	-147	38,5	558	0,0182
O_2	32,0	1,105	1,429	-218,8	-183,0	-118,8	49,2	556	0,031
CH_4	16,042	0,544	0,717	-182,5	-161,6	-82	46,7	721	0,033
C_2H_6	30,068	1,049	1,356	-182,5	-88,3	+32	49,2	438	0,047
C_3H_8	44,094	1,561	2,019	-185,3	-42,2	+96	42,8	359	0,037
HC_4H_{10}	50,12	2,067	2,672	-159,4	-10,2	+153	36,7	320	0,35
H_2	2,016	0,069	0,090	-259,4	-252,7	-239,9	12,8	4130	0,0154
H_2S	34,08	1,191	1,539	-61,8	-82,9	+100,4	88,9	287	2,58
SO_2	64,07	2,926	2,277	-72,7	-10,08	+157,5	77,7	195	39,73
CO	28,01	0,967	1,250	-205,06	-191,5	-139	35	499	0,023
NH_3	17,032	0,771	0,597	-77,7	-33,35	+132,4	111,5	513	702
He	4,003	0,138	0,178	-272,1**	-268,98	-267,9	2,26	3350	0,0093
Ne	20,183	0,695	0,899	-248,6	-246,03	-228,7	26,9	1037	0,0105
Ar	39,944	1,379	1,784	-189,4	-185,87	-120	50	388	0,0336
Kr	83,8	2,89	3,736	-156,6	-152,9	-62,5	54,3	212	0,0626
Xe	131,3	4,51	5,851	-111,5	-107,1	-16,6	58,2	124	0,123
Rn	222	7,31	9,96	-71	-65	+104,5	62,4	--	0,222

* Таблица составлена по данным: И. Т. Горановского и др., 1962 г.; Б. Г. Еремной, 1955 г.; В. М. Перельмана, 1954 г.;

А. А. Черепенникова, 1951 г.; Якудени, 1963 г.

** При давлении 25,27 ат.

стен азот бактериального и глубинного происхождения. Этот газ инертен и довольно устойчив в обычных условиях, однако при высокой температуре может вступать в реакцию с кислородом и водородом.

Кислород обладает высокой химической активностью, поэтому почти не встречается в составе газовой земной коры, так как быстро расходуется в различных окислительных реакциях. На глубине порядка нескольких сотен метров обычно отсутствует и встречается лишь в быстро инфильтрующихся подземных водах. Содержание кислорода в рудничном воздухе должно быть не менее 20%. При концентрации кислорода 14% затрудняется дыхание, а при 12% — наступает внезапное обморочное состояние, а затем и смерть от «кислородного голодания».

Углеводородные газы представляют собой смесь предельных углеводородных соединений ряда алканов общей формулой C_nH_{2n+2} , где для газообразных соединений n меняется от 1 до 5. Преобладающим является метан, остальные (этан и в особенности пропан и бутан) встречаются в незначительных количествах. Пентан может существовать в газообразном состоянии лишь при температуре выше $+36^\circ C$, а изопентан — выше $+28^\circ C$.

Метан является основным газовым компонентом нефтяных, газовых, угольных и в ряде случаев рудных месторождений. Известен также под названием рудничного или «болотного» газа. Он представляет собой горючий газ, который воспламеняется от источника температуры не сразу, а с запозданием; при температуре, равной $650^\circ C$, 10 сек, $1000^\circ C$ — до 1 сек. Это объясняется его большой теплопроводностью и высокой теплоемкостью. Теплотворная способность метана примерно в 2,5 раза больше, чем каменного угля, и колеблется от 8555 до 9494 ккал/м³. Метан взрывоопасен при содержании его в воздухе от 5—6 до 16%. Содержание его в рудничном воздухе согласно существующим правилам не должно превышать 0,5% для очистных и подготовительных забоев и 0,75% в исходящей струе шахты или рудника.

Этан так же, как пропан и бутан, сопутствует метану в природных газах и самостоятельно не встречается. Температура воспламенения этана в воздухе $530^\circ C$; пределы взрываемости 3,2—12,5%. Теплотворная спо-

способность его колеблется от 15 221 до 16 634 ккал/м³.

Пропан встречается в виде примесей в составе горючих газов. Температура воспламенения пропана в воздухе составляет 510° С, пределы взрываемости — 2,4—9,5%. Теплотворная способность пропана составляет 21 789—23 673 ккал/м³.

Бутан содержится в основном в газах нефтяных месторождений. В газах угольных и рудных месторождений встречается в виде примесей, обычно не превышающих тысячных и десятитысячных долей процента. Температура воспламенения бутана — 490° С, предел взрываемости 1,9—8,4%. Теплотворная способность его колеблется от 28 340 до 30 695 ккал/м³.

Водород — весьма горючий газ, в 14,5 раза легче воздуха. До последнего времени существовало мнение, что водород в составе природных газов встречается весьма редко, причем в незначительных количествах. Однако результаты работ последних лет (Соколов, Кравцов и Элинсон, 1957 г.; Фридман, 1961 г.; Гуревич, 1962 г. и др.) свидетельствуют о том, что он входит в состав газов почти всех месторождений полезных ископаемых. Особенно широко водород распространен в вулканических газах, газах рудных месторождений и калийных солей, а также в изверженных и метаморфических породах. В отдельных случаях содержание его в свободно выделяющихся газах очень высокое: 79,4% (Тагильский дунитовый массив) и 82% (Худесское медноколчеданное месторождение). Водород обладает теплотворной способностью 23 000—33 900 ккал/м³. Температура вспышки водорода в воздухе 510° С. Пределы взрываемости водорода 4,0—74,2%. Наличие в рудничном воздухе водорода, так же как и тяжелых газообразных гомологов метана, представляет серьезную опасность, так как они понижают температуру воспламенения горючей смеси и значительно расширяют пределы взрывоопасных концентраций. Предельно допустимое содержание водорода в рудничном воздухе не должно превышать 0,5%.

Сероводород часто присутствует в природных газах газовых, нефтяных и угольных месторождений, в вулканических газах, причем максимальные его содержания отмечаются в газах фумарол (до 88,6%). Распространен в водах ряда минеральных источников. Постоянно присутствует в сульфидных месторождениях, особенно в

стен азот бактериального и глубинного происхождения. Этот газ инертен и довольно устойчив в обычных условиях, однако при высокой температуре может вступать в реакцию с кислородом и водородом.

Кислород обладает высокой химической активностью, поэтому почти не встречается в составе газов земной коры, так как быстро расходуется в различных окислительных реакциях. На глубине порядка нескольких сотен метров обычно отсутствует и встречается лишь в быстро инфильтрующихся подземных водах. Содержание кислорода в рудничном воздухе должно быть не менее 20%. При концентрации кислорода 14% затрудняется дыхание, а при 12% — наступает внезапное обморочное состояние, а затем и смерть от «кислородного голодания».

Углеводородные газы представляют собой смесь предельных углеводородных соединений ряда алканов общей формулой C_nH_{2n+2} , где для газообразных соединений n меняется от 1 до 5. Преобладающим является метан, остальные (этан и в особенности пропан и бутан) встречаются в незначительных количествах. Пентан может существовать в газообразном состоянии лишь при температуре свыше $+36^\circ C$, а изопентан — выше $+28^\circ C$.

Метан является основным газовым компонентом нефтяных, газовых, угольных и в ряде случаев рудных месторождений. Известен также под названием рудничного или «болотного» газа. Он представляет собой горючий газ, который воспламеняется от источника температуры не сразу, а с запозданием; при температуре, равной $650^\circ C$, 10 сек, $1000^\circ C$ — до 1 сек. Это объясняется его большой теплопроводностью и высокой теплоемкостью. Теплотворная способность метана примерно в 2,5 раза больше, чем каменного угля, и колеблется от 8555 до 9494 ккал/м³. Метан взрывоопасен при содержании его в воздухе от 5—6 до 16%. Содержание его в рудничном воздухе согласно существующим правилам не должно превышать 0,5% для очистных и подготовительных забоев и 0,75% в исходящей струе шахты или рудника.

Этан так же, как пропан и бутан, сопутствует метану в природных газах и самостоятельно не встречается. Температура воспламенения этана в воздухе $530^\circ C$; пределы взрываемости 3,2—12,5%. Теплотворная спо-

способность его колеблется от 15 221 до 16 634 ккал/м³.

Пропан встречается в виде примесей в составе горючих газов. Температура воспламенения пропана в воздухе составляет 510° С, пределы взрываемости — 2,4—9,5%. Теплотворная способность пропана составляет 21 789—23 673 ккал/м³.

Бутан содержится в основном в газах нефтяных месторождений. В газах угольных и рудных месторождений встречается в виде примесей, обычно не превышающих тысячных и десятитысячных долей процента. Температура воспламенения бутана — 490° С, предел взрываемости 1,9—8,4%. Теплотворная способность его колеблется от 28 340 до 30 695 ккал/м³.

Водород — весьма горючий газ, в 14,5 раза легче воздуха. До последнего времени существовало мнение, что водород в составе природных газов встречается весьма редко, причем в незначительных количествах. Однако результаты работ последних лет (Соколов, Кравцов и Элинсон, 1957 г.; Фридман, 1961 г.; Гуревич, 1962 г. и др.) свидетельствуют о том, что он входит в состав газов почти всех месторождений полезных ископаемых. Особенно широко водород распространен в вулканических газах, газах рудных месторождений и калийных солей, а также в изверженных и метаморфических породах. В отдельных случаях содержание его в свободно выделяющихся газах очень высокое: 79,4% (Тагильский дунитовый массив) и 82% (Худесское медноколчеданное месторождение). Водород обладает теплотворной способностью 23 000—33 900 ккал/м³. Температура вспышки водорода в воздухе 510° С. Пределы взрываемости водорода 4,0—74,2%. Наличие в рудничном воздухе водорода, так же как и тяжелых газообразных гомологов метана, представляет серьезную опасность, так как они понижают температуру воспламенения горючей смеси и значительно расширяют пределы взрывоопасных концентраций. Предельно допустимое содержание водорода в рудничном воздухе не должно превышать 0,5%.

Сероводород часто присутствует в природных газах газовых, нефтяных и угольных месторождений, в вулканических газах, причем максимальные его содержания отмечаются в газах фумарол (до 88,6%). Распространен в водах ряда минеральных источников. Постоянно присутствует в сульфидных месторождениях, особенно в

зонах окисления. Температура воспламенения сероводорода 290°C . Взрывается он при содержании в воздухе от 4,3 до 45,5%. Сильно ядовит, при концентрации его в воздухе 0,1% — смертелен. Допустимая концентрация сероводорода в рудничном воздухе не более 0,00066%.

Сернистый газ широко развит в вулканических газах, причем особенно высокие его содержания отмечаются в низкотемпературных фумаролах. Присутствует в газах зоны окисления сульфидных месторождений. Очень ядовит. Безопасная концентрация сернистого газа в воздухе — 0,0007%.

Оксись углерода сравнительно редко присутствует в природных газах. Почти постоянно отмечается в вулканических газах (особенно в фумаролах с температурой выше $150\text{--}200^{\circ}\text{C}$), иногда в небольших количествах — в газах изверженных пород. Температура воспламенения окиси углерода в воздухе — 610°C . Взрывается при содержании его в воздухе от 13 до 75%. Очень ядовит. Отравление наступает при концентрации 0,01%. Предельно допустимая концентрация окиси углерода в рудничном воздухе — до 0,0016%.

Аммиак очень хорошо растворим в подземных водах. Встречается в природных газах крайне редко, так как в окислительной обстановке в свободном состоянии термодинамически неустойчив. Присутствует в основном, в вулканических газах. В последнее время установлено (Виноградов, Флоренский, Волынец, 1963 и др.), что связанный азот ($\text{N} - \text{NH}_3$) содержится во всех изверженных породах в количестве от 5 до 200×10^{-4} вес.%. Известны случаи выделения небольших количеств свободного аммиака в горные выработки Хибинских апатито-нефелиновых месторождений (Волынец, Фридман, 1965). Аммиак взрывается при содержании в воздухе от 14,5 до 28,6%. Предельно допустимая концентрация его в воздухе 0,02 мг/л (или 0,00002%).

Редкие газы занимают особое место в составе природных газов. Отличительной их особенностью является почти полная химическая инертность. В зависимости от своего удельного веса они подразделяются на тяжелые (аргон, криптон, ксенон, радон) и легкие (гелий и неон). Редкие газы встречаются в виде примесей в углеводородных или азотных газах, где их содержание редко превышает 1,0%. Наибольшую распро-

страненность в природных газах имеют гелий и аргон, концентрация которых может достигать нескольких процентов. Содержание остальных редких газов ничтожно мало.

Гелий почти не растворим в воде и других жидкостях и меньше, чем все другие газы, склонен к адсорбции. Хорошо диффундирует через твердые тела. Является хорошим проводником тепла, в чем уступает только водороду. Обладает максимальной для газов электропроводностью. Максимальное содержание гелия в газовых месторождениях достигает 10%, хотя повышенными считаются его концентрации в сотые и десятые доли процента (в зависимости от величины запасов гелиеносных газов). В газах рудных месторождений повышенные количества гелия отмечаются гораздо реже, однако в отдельных случаях они могут достигать нескольких процентов.

Аргон обычно содержится в природных газах в несколько больших количествах, чем гелий, однако концентрация его (за исключением атмосферы) составляет сотые, десятые доли процента и лишь изредка превышает 1,0%. Максимальные количества аргона отмечаются в составе природных газов калийных солей и некоторых месторождений полезных ископаемых, связанных с изверженными породами, где имеются большие количества калийсодержащих минералов. В отдельных случаях повышенные количества аргона отмечаются и в вулканических газах.

Гелий и аргон играют большую роль при решении ряда геологических вопросов: определении абсолютного возраста пород, газов, подземных вод и т. п.

ОБЩАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИХ ОСНОВНЫХ ТИПОВ

В основу классификаций природных газов положены химические, морфологические и генетические принципы.

Одним из первых (еще в 1912 г.) обратил внимание на важность изучения природных газов В. И. Вернадский, который дал их научную классификацию. Все природные газы в связи с их химическим составом он подразделил на три большие группы:

- I. Газы земной поверхности.
- II. Газы, связанные с высокой температурой.
- III. Газы, пронизывающие земную кору.

В последней группе В. И. Вернадский выделил две подгруппы: а) газы атмосферы, б) газы тектонических струй.

Газы тектонических струй по химическому составу делятся на семь типов: 1) азотные, 2) углекислые, 3) метановые, 4) водородные, 5) воздушные, 6) водяные и 7) сероводородные.

Кроме химической классификации, В. И. Вернадский предложил морфологическую, в которой все газы разделены на две большие группы: 1) свободные газы и 2) газы в твердых и жидких растворах. Эти группы, в свою очередь, подразделяются на ряд типов.

Обе классификации В. И. Вернадского взаимно дополняли друг друга и рассматривались вместе.

В 1930 г. В. А. Соколов предложил химическую классификацию, основанную на выделении трех основных типов природных газов: 1) углеводородные; 2) углекислые; 3) азотные.

Более совершенна классификация природных газов В. В. Белоусова (1936 г.), в основу которой положены газообразующие процессы:

А. Газы биохимического происхождения, образующиеся при разложении микроорганизмами органических веществ и минеральных солей.

Б. Газы воздушного происхождения, обусловленные проникновением в литосферу атмосферного воздуха.

В. Газы химического происхождения, подразделяющиеся на два подтипа: а) газы метаморфического происхождения, образующиеся при воздействии на горные породы высоких температур и давлений; б) газы природных химических реакций, протекающих при нормальных давлениях и температурах.

Г. Газы радиоактивного происхождения.

Классификация В. В. Белоусова в 1950 г. была дополнена и расширена А. Л. Козловым, который дал характеристику процессов и источников образования природных газов: биохимических, природных химических реакций, метаморфических, распада радиоактивных элементов, радиохимических и ядерных реакций — для газов, образующихся в земной коре, и космических, воз-

душных и магматических — для газов миграционного характера.

В 1954 г. М. И. Суббота предложил классификацию природных газовых ассоциаций, в которой выделены компоненты, наиболее характерные для природных газовых смесей. В ее основу положена классификация А. Л. Козлова. В 1956 г. К. П. Флоренский разработал диагностическую классификацию, основанную, на характерных отношениях между компонентами, позволяющими, по его мнению, определять условия газообразования. Указанная классификация близка к классификации А. Л. Козлова.

В 1956 г. В. А. Соколов, обобщив накопившийся богатый фактический материал по составу газов и их распределению, предложил новую классификацию природных газов. В основу классификации им положены условия нахождения газов и их химический состав, а также учтены генетические факторы (табл. 2). В 1966 г. В. А. Соколов несколько дополнил и изменил эту классификацию. В частности, он выделил новый подтип газов — из морских субаквальных осадков; газы остывших изверженных пород выделены в отдельный тип газов гранитной и базальтовой оболочек. Многочисленные данные о составе газов вулканов и фумарол позволили В. А. Соколову выделить самостоятельный тип вулканических газов, которые подразделены им на магматические (из лавовых озер) и фумарольные.

Классификация природных газов, составленная А. И. Кравцовым в 1957 г., близка к классификации В. А. Соколова 1956 г. При выделении главнейших типов природных газов А. И. Кравцов основывался на геологических и геохимических условиях их образования и химическом составе.

Атмосферные газы представлены в основном азотом и кислородом; в небольших количествах присутствуют аргон и углекислый газ. Помимо указанных компонентов, в воздухе имеются еще микрокомпоненты, общее содержание которых составляет 0,0025%.

Состав сухого атмосферного воздуха (по В. А. Соколову, 1956) следующий (в %): азот — 78,09; кислород — 20,95; аргон — 0,93; углекислый газ — 0,03; неон — 0,0018; гелий — 0,00052; криптон — 0,0001; водород — 0,00005; ксенон — 0,000008; метан — < 0,000005; тяжелые

Классификация природных газов (В. А. Соколов, 1956 г.)

18

Тип газа в отношении условий его нахождения	Химический состав			Происхождение газов с точки зрения факторов газообразования
	Главные компоненты, постоянно встречающиеся в газе	Компоненты, встречающиеся в значительных концентрациях не всегда	Микрокомпоненты	
I. Атмосферный газ	N_2 , O_2 , Ar, CO_2	—	O_3 , NO_2 , (NO, H_2), редкие газы	Смесь газов химического, биохимического и радиоактивного происхождения
II. Газы земной поверхности	CO_2 , N_2 , O_2 , Ar*	—	CH_4 , NO_2 , CO, H_2 , H_2S , летучие органические вещества (эфиры и др.), редкие газы (из воздуха)	Газы преимущественно биохимического происхождения с примесью газов химического происхождения (присутствует также воздух)
Газы почвы				
Болотные, торфяные газы	CH_4 , N_2 , CO_2	O_2	CO_2 , H_2 , N_2O , NH_3 , редкие газы (из воздуха)	Газы преимущественно биохимического происхождения с примесью газов химического происхождения (воздух присутствует иногда)
III. Газы осадочной толщи				
Газы нефтяных месторождений	CH_4 , Т. У.	N_2 , CO_2 , H_2S , He	(H_2), редкие газы	Газы химического и биохимического происхождения с примесью газов радиоактивного и воздушного происхождения
Газы газовых месторождений	CH_4	N_2 , Т. У., CO_2 , H_2S , He	(H_2), редкие газы	
Газы угольных месторождений	CH_4	CO_2 , N_2 , H_2 , H_2S , NH_3	Т. У., редкие газы	
Газы соленосных отложений	N_2 , H_2 , CO_2 , CH_4	H_2S , Т. У.	Редкие газы	
Газы рассеянные	N_2 , CH_4 , CO_2	H_2 Т. У., H_2S	Редкие газы	
IV. Газы метаморфических пород	N_2 , CO_2	H_2 , CH_4 , Т. У., H_2S	Редкие газы	Газы химического, воздушного и радиоактивного происхождения
V. Газы изверженных пород		CO , H_2 , CH_4 , H_2S , C_2H_2 , SO_2 , SO_3 , HCl, HF, B(OH) ₃ , NH_3 и др.		Газы химического происхождения с примесью газов радиоактивного происхождения
Вулканические газы	CO_2 , N_2		Т. У., редкие газы	
Газы остывших изверженных пород	N_2 , CO_2 , CH_4	H_2 , He, H_2S , CO	Т. У., редкие газы	

* N_2 , O_2 , Ar и другие редкие газы, имеющиеся в почве и подпочве, попадают сюда из атмосферы.

19

газообразные гомологи метана — $< 0,000001$; закись азота — $< 0,00005$. В атмосфере, кроме отмеченных компонентов, имеются азот и окислы азота.

Почвенные и подпочвенные газы образуются главным образом в результате разложения растительного и животного вещества под действием микроорганизмов. Благодаря интенсивному газообмену с атмосферой в составе газов преобладают воздушные компоненты. Наличие кислорода обуславливает почти полное окисление органического вещества до CO_2 и H_2O . Фоновое содержание CO_2 в почвенном воздухе обычно не превышает 0,5%, однако, если исключить воздушные компоненты, то его содержание в почвах составляет 99%. Фоновые содержания метана обычно составляют сотые доли процента. Согласно данным В. А. Соколова (1956, 1965) фоновые содержания тяжелых газообразных углеводородов в почвах составляют 10^{-4} — $10^{-5}\%$, а закиси азота 10^{-3} — $10^{-4}\%$.

Болотные и торфяные газы образуются на дне различных водоемов в анаэробных условиях. В ряде случаев преобладает метан, содержание которого обычно 40—75%, а в отдельных случаях может достигать 90% и более.

В значительных количествах присутствуют азот и углекислый газ, иногда встречается кислород. Многочисленные исследования болотных газов, проведенные В. А. Соколовым, показали, что содержание тяжелых углеводородов в них не превышает $10^{-3}\%$. Кроме того, в отдельных случаях встречается и водород.

Газы нефтяных месторождений — смесь углеводородных газов алканового ряда, где, кроме метана, присутствуют более тяжелые газообразные углеводороды: этан, пропан, бутан и изобутан. Содержание тяжелых газообразных углеводородов колеблется от десятых долей процента до нескольких десятков процентов. В нефтяных залежах газы или находятся в свободном состоянии в виде газовых шапок или растворены в нефти. Особенно богаты тяжелыми углеводородами растворенные газы, которые выделяются на поверхности при эксплуатации месторождений (попутные газы). В них содержатся также пары легких бензиновых фракций. Максимальное содержание тяжелых углеводородов в попутных газах может достигать 80%. В ряде случаев в

состав нефтяных газов входит водород. Кроме того, в них постоянно присутствуют углекислый газ и азот. Содержание углекислого газа в нефтяных газах обычно не превышает 5—7%. Однако в нефтяных месторождениях палеогенового и неогенового возрастов Северного Кавказа содержание углекислого газа достигает 20% и более. Повышенные содержания азота (до 50%) характерны для газов нефтяных месторождений Башкирии и Татарии, расположенных в палеозое. В этих же газах отмечается до 3—5% сероводорода.

Газы газовых¹ месторождений характеризуются преобладанием метана, который является основным компонентом. В отличие от газов нефтяных месторождений содержание тяжелых газообразных гомологов здесь редко превышает 1—3%. На глубине более 1000 м встречаются газоконденсатные месторождения, где содержание тяжелых углеводородов несколько больше. В отличие от газов нефтяных месторождений, которые по содержанию тяжелых газообразных углеводородов относятся к жирным, газы, состоящие преимущественно из метана, называются сухими. В небольших количествах (обычно единицы процентов) в них содержатся углекислый газ, азот и сероводород. Иногда в составе газов газовых месторождений отмечается водород — до 3,7%. В отдельных газовых месторождениях отмечаются повышенные количества гелия, однако концентрации его в газах более 0,05—0,1% сравнительно редки и в основном отмечаются в залежах, приуроченных к древним отложениям. Лишь в отдельных газовых месторождениях содержание гелия превышает 1%.

Газы угольных месторождений играют важную роль в земной коре. Это объясняется тем, что общие запасы угля в сотни раз превышают запасы нефти и, следовательно, количества газов в угольных месторождениях очень велики. Основным компонентом угольных газов является метан², в небольших количествах содержатся азот и углекислый газ. В ряде случаев были отмечены водород, тяжелые газообразные углеводороды и сероводород. В распределении различных газовых

¹ Имеются в виду месторождения углеводородных газов.

² В месторождениях каменных углей. Основной газовый компонент месторождений бурых углей — в большинстве случаев углекислый газ.

компонентов в угольных месторождениях наблюдается вертикальная зональность, обусловленная проникновением воздуха в угольные пласты. Зональность была установлена и изучена Г. Д. Лидиным и А. И. Кравцовым. Согласно исследованиям, проведенным А. И. Кравцовым, для газоносных угольных месторождений различных бассейнов в общем четко выдерживается следующая вертикальная зональность газов (сверху вниз):

- а) зона азотно-углекислых газов: $\text{CO}_2 > 20\%$ и $\text{N}_2 < 80\%$;
- б) зона углекисло-азотных газов: $\text{CO}_2 < 20\%$ и $\text{N}_2 > 80\%$;
- в) зона метаново-азотных газов: $\text{CH}_4 < 70\%$; CO_2 от 0 до 30%; N_2 — от 15 до 70%;
- г) зона азотно-метановых газов: CH_4 — 80%; CO_2 от 0 до 20%; N_2 — 19—77%;
- д) зона метановая: $\text{CH}_4 > 80\%$; $\text{N}_2 < 18\%$; $\text{CO}_2 < 9\%$.

Наиболее характерным для угольных месторождений является состав метановой зоны, так как состав газов верхних трех зон обусловлен проникновением в угольные пласты атмосферного воздуха. Максимальное содержание метана в метановой зоне достигает 98—99%. В ряде случаев отмечаются повышенные количества водорода (до 26%) и тяжелых газообразных углеводородов (до 12,5%) (Элинсон, 1963).

Кроме углеводородных газов, связанных своим происхождением с нефтью и углем, или самостоятельных залежей горючих газов, в земной коре встречаются газовые залежи, состоящие преимущественно из азота или углекислого газа (90—95%). В отдельных случаях в них присутствует в значительных количествах метан (до 70% и более), отмечаются водород, сероводород и гелий. Содержание последнего иногда может достигать 0,1%. Тяжелых углеводородов в этих газах мало — обычно сотые доли процента.

Отличительной чертой газов каменных солей, особенно пластов карналлита и сильвинита, является иногда наличие повышенных количеств водорода и азота. По данным З. Н. Несмеловой (1961), все пустоты соляных пород Березниковского месторождения заполнены газом, находящимся под давлением в несколько десятков атмосфер. В состав газов входят: азот (47,6—74,4%),

метан (12,1—43,4%), тяжелые углеводороды (0,183—14,6%), водород (8,7%), углекислый газ (0,07%), кислород (0,6%), тяжелые инертные газы (0,078—0,218%) и легкие инертные газы (0,001—0,009%). В микровключениях были обнаружены те же газовые компоненты, однако содержание водорода здесь достигало 25,5%. Максимальные количества водорода приурочены к пластам карналлита, и в газах, выделяющихся из скважин и шпуров Соликамского месторождения, иногда достигали 30—50% (Савченко, 1958). В газовых включениях солей Стассфурдского месторождения содержится до 93% водорода (Erdman, 1961).

Газы, рассеянные в осадочных породах, состоят из тех же компонентов, что и газы угольных, нефтяных и газовых месторождений. Содержание углеводородных газов находится в прямой зависимости от содержания органического вещества в породах. В отложениях, обогащенных органическим веществом, преобладает метан и общее их газосодержание довольно значительное (до нескольких сотен кубических сантиметров на 1 кг породы). В газах пород, не содержащих органического вещества, преобладает азот или углекислый газ, а общее их газосодержание обычно не превышает 20—30 см³ на 1 кг породы. Тяжелые углеводородные газы присутствуют в небольших количествах и лишь в обогащенных органическим веществом породах достигают десятых долей процента. В ряде случаев установлен водород (иногда 30—40%), в небольших количествах — сероводород. Редкие газы присутствуют в виде примесей.

Газы метаморфических пород характеризуются весьма разнообразным составом, который обусловлен как величиной температурного воздействия, так и вещественным составом вмещающих пород. Важное значение имеет и заключенное в породах органическое вещество. В составе природных газов метаморфических пород преобладают азот и углекислый газ, содержание которых в ряде случаев достигает 95—99%. Большие количества углекислого газа характерны для метаморфизованных карбонатных пород. В газах метаморфизованных эффузивов обычно преобладает азот. В газах метаморфизованных осадочных пород, содержащих органическое вещество, кроме азота и углекислого газа, при-

сутствуют метан (до 40%), тяжелые углеводородные газы (до 10%) и водород. Максимальные количества последнего (в отдельных случаях до 50—60%) отмечают вблизи контактов осадочных пород с интрузивными телами. Небольшое количество водорода (первые единицы процента, редко больше) содержится в метаморфизованных эффузивных породах, гнейсах и кварцитах. Для всех метаморфических пород характерно наличие небольшого количества сероводорода. В отдельных случаях в газах метаморфических пород была установлена окись углерода. В виде примеси в них присутствуют редкие газы.

Вулканические газы представляют собой значительный интерес с точки зрения возможности изучения качественного и количественного состава летучих компонентов магмы и, следовательно, получения представления о газах нижних частей земной коры и мантии. Систематическое изучение вулканических газов стало проводиться сравнительно недавно. Благодаря работам С. И. Набоко, Л. А. Башариной, Е. С. Шеферда, Д. Е. Уайта, С. Мацуо, Г. Тазнева, И. Ивасаки и других исследователей установлено, что в вулканических эманациях присутствуют пары воды, составляющие более 90% общего количества газообразных продуктов, углекислый газ, азот, окись углерода, водород, сероводород, окислы серы, галогены и их водородные соединения, аммиак, хлористый аммоний, борная и мышьяковистая кислоты, хлориды, фториды и сульфиды металлов. Иногда в вулканических газах содержится небольшое количество углеводородов (в основном метана), в виде примесей установлены редкие газы.

Согласно мнению Д. Е. Уайта и Г. А. Уоринга (1965), химический состав вулканических газов зависит от следующих факторов: 1) первоначального летучего компонента в магме; 2) температуры выделения газовой смеси из магмы и температуры в месте ее выхода на поверхности; 3) времени с начала выделения газов; 4) места выделения газов; 5) степени смешения и реакций с воздухом и поверхностными водами и 6) реакций с породами по пути движения газов. Основным фактором, определяющим изменение состава вулканических газов как во времени, так и в зависимости от расстояния от жерла вулканов, является температура.

Ниже показана зависимость состава вулканических газов от температурного фактора (Iwasaki и др., 1962):

Температура, °C	Химические компоненты (исключая H ₂ O)
1 200—800	HCl, SO ₂ , CO ₂ , H ₂ » H ₂ S, N ₂
800—100	A: HCl, SO ₂ , H ₂ S, CO ₂ » N ₂ , H ₂ B: SO ₂ , H ₂ S, CO ₂ » N ₂ , H ₂
100—60	H ₂ S, CO ₂ > N ₂ > SO ₂ » H ₂
Менее 60	CO ₂ > N ₂ > H ₂ > H ₂ S

Углекислый газ является основным компонентом газов на всех стадиях вулканической деятельности. Особенно большие его количества выделяются из моффет. Водород более характерен для высокотемпературных вулканических газов, где его содержание иногда достигает 40% (Ключевская сопка). Содержание сероводорода доходит до 20%. Сернистый газ встречается почти в таких же концентрациях, но характерен для более высокотемпературных газов.

Распространение метана в вулканических газах весьма неравномерное, а в ряде случаев он вообще отсутствует. Содержание его чаще всего не превышает 1,0%. Однако, согласно данным Э. Т. Аллена и А. Л. Дея (1927 г.), концентрация метана в газах гейзеров Калифорнии достигала 10—16%. Метан отмечается в основном в газах фумарол с температурой меньше 500° С. Остальные компоненты вулканических газов обычно встречаются в меньших количествах (до 10%).

Газы остывших изверженных пород и минералов стали детально изучать лишь в последние 15—20 лет. Работы А. И. Кравцова, М. М. Элинсон, И. А. Петерсилье, М. Г. Гуревича, И. Ф. Линде, автора и других советских и зарубежных исследователей позволили установить состав природных газов различных эффузивных и интрузивных пород. В газах изверженных пород присутствуют углекислый газ, азот, углеводороды, водород, сероводород, гелий и аргон. В отдельных случаях были отмечены небольшие количества окиси углерода и крайне редко аммиака. Наряду с широким распространением азота и углекислого газа в газах изверженных пород в ряде случаев присутствует большое ко-

личество водорода, метана и тяжелых газообразных углеводородов. Особенно большое количество этих компонентов установлено в свободно выделяющихся газах: водорода — до 82% (Худесское медноколчеданное месторождение), метана — до 80—90% (Хибинский массив щелочных пород и т. д.) и тяжелых углеводородов — до 10—12% (Хибинский щелочной массив). Высокое содержание углеводородных газов в изверженных породах представляет значительный теоретический и практический интерес. Общее содержание природных газов в изверженных породах колеблется в широких пределах — от нескольких кубических сантиметров до 300—400 см³ на 1 кг породы.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ОСНОВНЫХ ГАЗОВЫХ КОМПОНЕНТОВ

При изучении газоносности любых месторождений полезных ископаемых, установлении характера газопроявлений, приуроченности газовых скоплений к определенным комплексам пород, а также для выяснения возможности использования природных газов в качестве геохимических индикаторов при проведении поисково-разведочных работ и разрешении ряда геологических задач большое значение имеет правильное определение происхождения отдельных газовых компонентов.

Образование природных газов происходит в самых разнообразных геолого-геохимических условиях, а высокие миграционные свойства газов обуславливают возникновение природных газовых смесей, отдельные компоненты которых характеризуются различным происхождением. Кроме того, как различные газовые смеси, так и одни и те же газовые компоненты (за исключением газов радиоактивного распада) образуются одновременно в результате различных процессов, с преобладанием того или иного из них в зависимости от конкретной геолого-геохимической обстановки. Основными газообразующими процессами являются: жизнедеятельность различных организмов, химические реакции, происходящие на поверхности земли и в приповерхностных условиях, метаморфизм (как региональный, так и контактовый), химические реакции, протекающие в магматическом расплаве, и радиоактивный распад элементов. Значение от-

дельных газообразующих процессов весьма различное и каждый из них не всегда может быть количественно охарактеризован.

Первичным источником природных газов, по мнению А. П. Виноградова (1964), являются газы и пары космического происхождения, которые были внесены холодными обломками, отвечающими по составу каменным метеоритам, в процессе роста и формирования планеты. Появление ряда газовых компонентов на поверхности земли связано с последующими процессами выплавления и дегазации мантии. Кроме того, газы (первичные) образуются в результате радиоактивного распада. Многообразие природных газов в различных породах и атмосфере обусловлено изменением первичных продуктов дегазации мантии вследствие различных химических и биохимических реакций.

Углекислый газ весьма широко распространен в природе. В почве и других поверхностных отложениях происходит биохимическое разложение органических веществ в результате жизнедеятельности различных аэробных бактерий. По мнению В. А. Соколова (1948), при аэробном разложении органических веществ в результате жизнедеятельности различных аэробных бактерий в атмосферу выделяется, по-видимому, почти весь углерод, содержащийся в живом организме. В результате образуется большое количество соединений, представленных в основном углекислым газом — конечным продуктом окисления органического вещества. Однако выделяющиеся при анаэробных процессах газы почти сразу же поступают в атмосферу и не могут образовывать сколько-нибудь крупных скоплений.

Углекислый газ в осадочных породах возникает также в результате жизнедеятельности анаэробных бактерий. В результате работ В. Л. Омелянского (1902 г.), Т. Л. Гинзбург-Карагичевой (1940 г.) и других исследователей установлено, что в среде, бедной кислородом, при разложении органического вещества бактериями образуются в основном метан и углекислый газ. При процессах денитрификации и десульфуризации выделяется кислород, который расходуется на окисление органического вещества, образуя в конечном итоге углекислый газ. Возникающий в результате жизнедеятельности анаэробных бактерий углекислый газ также не образует

значительных скоплений, так как этот процесс в основном локализован на небольших участках осадочных пород, обогащенных органическим веществом. Кроме того, углекислый газ легко растворяется и уносится подземными водами. Геохимическая обстановка в ряде случаев способствует связыванию углекислого газа и образованию бикарбонатов, а в щелочной среде — и карбонатов.

Определенная роль в образовании углекислого газа принадлежит и химическим реакциям, протекающим вблизи поверхности. В частности, он выделяется при воздействии кислых вод на карбонатные породы, а также при разложении бикарбонатов. Образование углекислого газа происходит и при действии кислых вод на воды, содержащие растворенную углекислоту.

Большое количество углекислого газа возникает в результате окисления органического вещества кислородом воздуха. Этот процесс в осадочной толще происходит повсеместно и в значительных масштабах. С глубиной окисление органического углерода атмосферным кислородом происходит все менее интенсивно и затем прекращается. Глубина проникновения кислорода в толщу пород зависит от геологического строения участка, проницаемости пород и обычно не превышает нескольких десятков метров. В отдельных угольных месторождениях Донбасса окисление угольного вещества атмосферным кислородом (зона газового выветривания) наблюдалось до глубины 800 м и более (Элинсон, 1962).

На значительных глубинах образование углекислого газа частично связано с разложением карбонатов при высокой температуре, которая обусловлена как обычным нарастанием температуры с глубиной, так и контактовым воздействием интрузивных тел. При соприкосновении магмы, богатой кремнеземом, с известняками происходит реакция: $\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightleftharpoons \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$. В результате этой реакции образуется много углекислого газа и минерал волластонит, характерный для метаморфических и метасоматических пород.

Углекислый газ, содержащийся в вулканических газах и термальных водах, а также заключенный в замкнутых порах изверженных пород и руд, тесно связан с магматической деятельностью. Он образуется в результате окисления углерода, находящегося в расплаве, кислородом. Возможно также, что окисляется в основном

не углерод, а окись углерода, возникающая в результате реакции углерода с силикатами.

По мнению А. П. Виноградова (1964), углекислый газ, содержащийся в вулканических газах, образуется в результате взаимодействия паров воды с рассеянным в породах мантии углеродом: C (графит) $+ H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$.

Метан, находящийся в почвах и приповерхностных отложениях, имеет биохимическое происхождение и образовался в результате жизнедеятельности различных бактерий. Мощность зоны интенсивного биохимического превращения органического вещества, по данным ряда исследователей, обычно не превышает нескольких десятков метров. По мере накопления осадков и удаления от дневной поверхности роль бактериальных процессов в газообразовании уменьшается. Разложение исходного органического вещества и образование метана в данных условиях происходит в результате жизнедеятельности анаэробных бактерий. По мнению ряда исследователей (И. О. Брода, В. В. Вебера, А. Л. Козлова и др.), преобладающие количества метана и других углеводородных газов в осадочных породах связаны с указанным процессом. Однако В. А. Соколов (1965) считает, что роль бактерий как основного газообразующего агента на глубине порядка 1—2 км и более ничтожна, так как интенсивность биохимических процессов здесь во много тысяч раз слабее, чем вблизи поверхности. На этих глубинах, по данным В. А. Соколова, основную роль играют термokatалитические и гидрогенизационные процессы, т. е. происходит обуглероживание органического вещества и выделение больших количеств углеводородных газов, в основном метана, значение которого с глубиной возрастает.

Таким образом, метан образовывался на всех стадиях изменения исходного органического вещества. Преобладающие его количества в осадочных породах возникли вследствие метаморфизма органического вещества. Метан биохимического происхождения обычно имеет подчиненное значение, так как вследствие незначительной покрышки перекрывающих пород и слабой их цементации в начальный период газообразования большая часть его улетучивалась в атмосферу.

значительных скоплений, так как этот процесс в основном локализован на небольших участках осадочных пород, обогащенных органическим веществом. Кроме того, углекислый газ легко растворяется и уносится подземными водами. Геохимическая обстановка в ряде случаев способствует связыванию углекислого газа и образованию бикарбонатов, а в щелочной среде — и карбонатов.

Определенная роль в образовании углекислого газа принадлежит и химическим реакциям, протекающим вблизи поверхности. В частности, он выделяется при воздействии кислых вод на карбонатные породы, а также при разложении бикарбонатов. Образование углекислого газа происходит и при действии кислых вод на воды, содержащие растворенную углекислоту.

Большое количество углекислого газа возникает в результате окисления органического вещества кислородом воздуха. Этот процесс в осадочной толще происходит повсеместно и в значительных масштабах. С глубиной окисление органического углерода атмосферным кислородом происходит все менее интенсивно и затем прекращается. Глубина проникновения кислорода в толщу пород зависит от геологического строения участка, проницаемости пород и обычно не превышает нескольких десятков метров. В отдельных угольных месторождениях Донбасса окисление угольного вещества атмосферным кислородом (зона газового выветривания) наблюдалось до глубины 800 м и более (Элисон, 1962).

На значительных глубинах образование углекислого газа частично связано с разложением карбонатов при высокой температуре, которая обусловлена как обычным нарастанием температуры с глубиной, так и контактовым воздействием интрузивных тел. При соприкосновении магмы, богатой кремнеземом, с известняками происходит реакция: $\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightleftharpoons \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$. В результате этой реакции образуется много углекислого газа и минерал волластонит, характерный для метаморфических и метасоматических пород.

Углекислый газ, содержащийся в вулканических газах и термальных водах, а также заключенный в замкнутых порах изверженных пород и руд, тесно связан с магматической деятельностью. Он образуется в результате окисления углерода, находящегося в расплаве, кислородом. Возможно также, что окисляется в основном

це углерод, а окись углерода, возникающая в результате реакции углерода с силикатами.

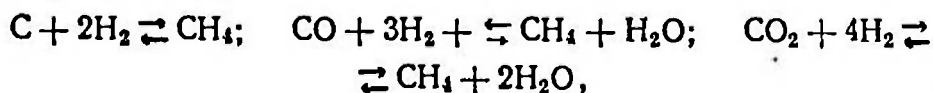
По мнению А. П. Виноградова (1964), углекислый газ, содержащийся в вулканических газах, образуется в результате взаимодействия паров воды с рассеянным в породах мантии углеродом: C (графит) $+H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$.

Метан, находящийся в почвах и приповерхностных отложениях, имеет биохимическое происхождение и образовался в результате жизнедеятельности различных бактерий. Мощность зоны интенсивного биохимического превращения органического вещества, по данным ряда исследователей, обычно не превышает нескольких десятков метров. По мере накопления осадков и удаления от дневной поверхности роль бактериальных процессов в газообразовании уменьшается. Разложение исходного органического вещества и образование метана в данных условиях происходит в результате жизнедеятельности анаэробных бактерий. По мнению ряда исследователей (И. О. Брода, В. В. Вебера, А. Л. Козлова и др.), преобладающие количества метана и других углеводородных газов в осадочных породах связаны с указанным процессом. Однако В. А. Соколов (1965) считает, что роль бактерий как основного газообразующего агента на глубине порядка 1—2 км и более ничтожна, так как интенсивность биохимических процессов здесь во много тысяч раз слабее, чем вблизи поверхности. На этих глубинах, по данным В. А. Соколова, основную роль играют термокаталитические и гидрогенизационные процессы, т. е. происходит обуглероживание органического вещества и выделение больших количеств углеводородных газов, в основном метана, значение которого с глубиной возрастает.

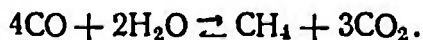
Таким образом, метан образовывался на всех стадиях изменения исходного органического вещества. Преобладающие его количества в осадочных породах возникли вследствие метаморфизма органического вещества. Метан биохимического происхождения обычно имеет подчиненное значение, так как вследствие незначительной покрывки перекрывающих пород и слабой их цементации в начальный период газообразования большая часть его улетучивалась в атмосферу.

Определенное значение при образовании метана имеет и контактовое (термальное) воздействие интрузий, эффузий, а также гидротермальных растворов на органическое вещество пород. Особенно широко это явление развито в вулканических областях и районах, где рудные тела и вмещающие их изверженные породы залегают среди осадочных образований с органическим веществом (Норильские медно-никелевые месторождения и т. д.).

Другое происхождение имеет метан в вулканических газах и изверженных породах. Он образуется в результате неорганического синтеза водорода или паров воды с окисью или двуокисью углерода, а также непосредственно с самим углеродом, содержащимся в магматическом расплаве:



кроме того, при действии паров воды на углерод или окись углерода



Сдвиг термодинамических равновесий в ту или иную сторону обусловлен рядом причин: температурой, давлением, каталитическим воздействием пород и минералов, а также концентрацией углерода и воды. Катализаторами являются железо, алюминий и другие металлы, а также их соединения, в частности силикаты.

Термодинамические расчеты, произведенные М. Н. Полянским (1965) и др., показывают, что в температурном интервале 1200—800°С метан практически не образуется (концентрация около 10⁻⁶%). При температуре около 600°С и давлении порядка 100 ат и более содержание метана в газовой смеси достигает 88% и больше.

Количество метана неорганического происхождения довольно большое.

Тяжелые углеводородные газы, среди которых преобладает этан, в приповерхностных отложениях, а также в верхней части разреза осадочных пород могли образоваться в результате биохимических процессов. Результаты исследования В. А. Соколова (1956, 1962) показывают, что содержание тяжелых углеводородных газов здесь крайне невелико — до 10⁻³%, а с

глубиной оно увеличивается. Это, по всей вероятности, связано с тем, что все большее значение в газообразовании приобретают физико-химические изменения органического вещества вследствие его метаморфизма. В частности, образование тяжелых углеводородных газов в угольных пластах или рассеянном углестом веществе связано с его карбонизацией.

Согласно современным представлениям угольное вещество представляет собой полимер, основные структурные звенья которого состоят из ароматических ядер разной степени конденсированности. Они объединены в одну макромолекулярную систему гидрохроматическими и мостиковыми соединениями, а также линейно полимеризованными углеводородами (Гофтман, 1963). На начальных стадиях углефикации органического вещества выделяются в основном низкомолекулярные кислородосодержащие соединения, а затем и метан. На средних стадиях метаморфизма, по мнению Б. М. Зимакова (1965), вследствие разрушения углеводородных связей происходит удаление из угольных макромолекул углеводородных соединений в виде метана, так и более тяжелых его гомологов (вплоть до жидких). Проведенные им в Печорском бассейне исследования показывают, что максимальное содержание тяжелых углеводородных газов характерно для каменных углей средней стадии метаморфизма (жирные угли), а минимальное — для каменных углей низкой (длиннопламенные) и высоких (тощие) степеней метаморфизма. Последнее обусловлено тем, что с увеличением степени углефикации содержание тяжелых углеводородных газов уменьшается, а выделяется почти чистый метан. Аналогичная закономерность была отмечена и в других угольных бассейнах.

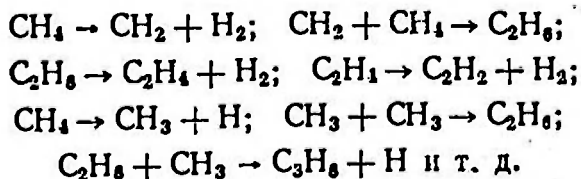
Согласно теории, разработанной В. А. Соколовым (1948, 1965, 1966), которая признана большинством специалистов по геохимии нефти и углеводородных газов, основное количество тяжелых углеводородных газов и других углеводородных соединений от метана до $C_{14}-C_{20}$ и выше образовалось на глубине от 1—2 до 6 км в результате термического разложения органического вещества и воздействия на него водорода, т. е. при его термokatалитических превращениях. Особенно интенсивно происходит термальное разложение органиче-

ского вещества и образование тяжелых углеводородных газов на контакте с интрузивными телами.

В зоне контактового метаморфизма органическое вещество претерпевает почти такие же изменения, как при искусственном коксовании. Исследования, проведенные автором совместно с А. П. Ван-Ван-Е, показали, что при нагревании норильских углей без доступа воздуха до 600—800°С образуются тяжелые углеводородные газы (от этана до бутана включительно) (5—10%), водород (до 70%, 12—13 см³ на 1 г угля) и метан. Кроме того, было получено небольшое количество (1—3%) окиси углерода и непредельных углеводородов. Последние неустойчивы и быстро расходуются в породах в процессе различных реакций. Наиболее благоприятные условия для образования тяжелых газообразных гомологов метана имеют место при температуре меньше 400°С. При более высоких температурах они разлагаются с выделением свободного водорода.

Тяжелые углеводороды, находящиеся в изверженных породах, имеют неорганическое происхождение и возникли в процессе их формирования. Н. Д. Зелинский (1936) считал, что «...метан является источником образования метановых радикалов; эти последние ассоциируют между собой в разнообразные цепи, которые, присоединяя метильные радикалы в момент их возникновения, дают парафиновые углеводороды».

Термические реакции с метаном происходят следующим образом:

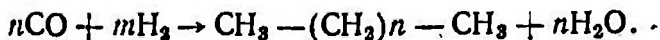


Кроме того, тяжелые углеводороды могли получиться в результате полимеризации молекул метана, которая происходит с отщеплением свободного водорода (Соколов, 1948). В таких случаях образование тяжелых углеводородов, по-видимому, происходило по схеме



вплоть до возникновения жидких и твердых углеводородов, которые довольно часто встречаются в изверженных породах. Согласно имеющимся экспериментальным дан-

ным тяжелые углеводороды могли образовываться непосредственно из окиси углерода и водорода (Соколов, 1965):



Несомненно, в природных условиях образование тяжелых углеводородов, как газообразных, так и жидких, происходит более сложным путем. Однако независимо от схемы их образования все процессы протекают при температуре порядка 200—300°С в присутствии катализаторов, которыми служат окислы и силикаты алюминия, железа и некоторых других металлов. Без катализаторов указанные реакции происходят при более высокой температуре, что в свою очередь обуславливает сдвиг равновесия в сторону исходных продуктов — метана и водорода.

Некоторые количества тяжелых углеводородных газов образуются при действии на органическое вещество α -частиц, возникающих при распаде радиоактивных элементов. При этом метан и более тяжелые углеводородные газы в свою очередь расщепляются α -частицами на радикалы и водород. Вследствие полимеризации радикалов ($-\text{CH}_3$), ($-\text{C}_2\text{H}_5$) и т. д. могут образоваться различные предельные углеводороды (Соколов, 1948).

Водород обязан своим происхождением различным процессам, протекающим в природных условиях. Некоторое количество водорода, содержащееся в природных газах осадочных пород, угольных, нефтяных и газовых месторождений, могло образоваться в результате биохимического превращения органического вещества под действием анаэробных бактерий. На протекание указанного процесса в природе неоднократно указывали В. Л. Омелянский, Т. Л. Гинзбург-Карагичева и другие исследователи. Однако образование водорода в результате жизнедеятельности микроорганизмов, вызывающих водородное брожение исходного органического вещества, имеет небольшое значение и происходит на малых глубинах.

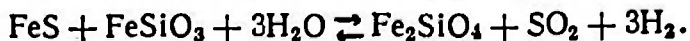
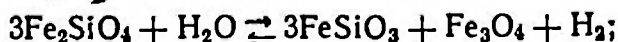
Большую роль в образовании водорода, по-видимому, играет обуглероживание органического вещества при метаморфизме, в результате которого происходит обеднение его водородом, выделяющимся как в составе углеводородных газов, так и в свободном виде. Особен-

но значительное количество водорода образуется при термальном воздействии интрузивных тел на органическое вещество, о чем убедительно свидетельствуют приведенные выше материалы по нагреванию углей Норильского района, а также данные Г. Д. Лидина (1949), А. И. Фридмана (1961), Т. Р. Даниловой (1964) и др.

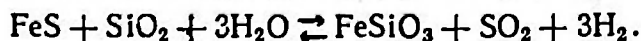
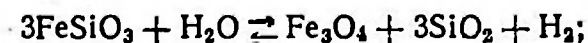
Основным источником водорода в земной коре является вода. В больших количествах он образуется в магмах вследствие термokatалитического разложения воды, что обуславливает появление его в газах вулканов и изверженных пород. Возникновение водорода при этих реакциях может происходить в результате взаимодействия воды с железом или его соединениями при температуре порядка 300—500° С и более:



В осадочных породах вследствие невысоких температур образование заметных количеств водорода таким путем не происходит. Наиболее благоприятные условия в магматических расплавах, где температура достигает 1200° С, а иногда и больше. По мнению С. Мацуо (Matsuo, 1960), в этих условиях в результате окислительно-восстановительных реакций образуется большое количество различных газовых компонентов, в том числе водорода. Существенную роль в таких реакциях играют железистые минералы. Состав газов основной магмы формируется в результате гетерогенных реакций между парами воды и такими железистыми минералами, как фойялит, гиперстен, магнетит и пирротин:



Для кислой магмы состав газов, по данным С. Мацуо, определяется железистыми минералами с большим количеством кремнезема:



Наконец, для гранитной магмы состав газов, по-видимому, определяется такими железистыми минералами, как амфиболы и слюды. Кроме того, в амфиболах встречаются включения магнетита и гематита. Вследствие этого обычными реакциями являются взаимодействия окислов или сульфидов железа с парами воды. Та-

ким образом, содержание водорода в магме, а следовательно, в изверженных породах и лавах, определяется содержанием железистых минералов, которое увеличивается от кислых пород к основным, поэтому в основных магмах и породах водорода больше, чем в кислых.

Описанные выше реакции образования водорода являются экзотермическими. Согласно предположению Л. В. Хмелевской (1947), наиболее благоприятные условия для образования магматического водорода создаются при поднятии расплавленных масс в верхние, более холодные участки литосферы и сохраняются в течение всего процесса кристаллизации.

Образование водорода происходит также при разложении воды под действием радиоактивных элементов: урана, радия, тория и калия. Одна α -частица в среднем может разложить несколько десятков тысяч молекул воды. Водород образуется также в результате воздействия α -частиц на различные органические соединения (водорода до 90—95% от состава образующихся газов). Количество водорода, генерирующегося при этом процессе, зависит от распределения радиоактивных элементов, их концентрации и энергии α -частиц.

Согласно подсчетам В. А. Соколова (1965), в 1 км³ породы при кларковом содержании радиоактивных элементов за 200 млн. лет образовалось около 2—3 млн. т водорода, который в основном был рассеян в процессе образования, возможно, ушел в атмосферу и соединился с кислородом, а также расходовался при гидрогенизации органического вещества. Поэтому при благоприятных условиях при наличии газонепроницаемого экрана и невозможности ухода водорода в атмосферу, в литосфере могут сохраниться значительные количества радиогенного водорода.

Следует подчеркнуть, что образование радиогенного водорода происходит повсеместно и в осадочных, и в изверженных породах, при этом количество его пропорционально времени, т. е. возрасту пород. Чем древнее породы, тем больше возникало в них водорода.

Азот. Основное количество азота в породах и природных газах различных месторождений имеет воздушное происхождение. Причина накопления азота в породах заключается в следующем: при осадконакоплении, а также благодаря привносу воздуха инфильтрующими-

ся с поверхности водами на глубине скапливается значительное количество атмосферных газов. Кислород как химически активный элемент легко вступает в окислительные реакции с органическим веществом или соединениями металлов (сульфидами, оксидами и т. д.) и, следовательно, быстро расходуется. В связи с этим в породах увеличивается содержание инертного в обычных условиях азота. Показателем воздушного происхождения азота является его отношение к аргону:

$$\frac{N_2}{Ar} \times 100 = 1,18\% \text{ (Савченко, 1936).}$$

Некоторое количество азота образовалось в результате жизнедеятельности денитрифицирующих бактерий, восстанавливающих азотистые соединения, содержащиеся в почвах, породах и подземных водах. Биохимический азот образуется в основном вблизи поверхности.

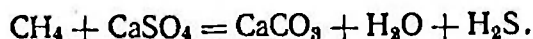
Небольшое количество азота является результатом разложения органического вещества при высоких температурах (Белоусов, 1937).

Азот, содержащийся в замкнутых порах и полостях изверженных пород, сингенетичен изверженным породам и имеет магматическое происхождение. По мнению А. П. Виноградова (1964), азот изверженных пород и вулканических газов — продукт дегазации мантии. При высоких температурах (порядка 1000—1200°С) он улетучивается из мантии вместе с парами воды и другими газами в виде элементарного азота. При более низких температурах (около 400°С) азот в основном находится в связанном состоянии в виде аммиака или его соединений. А. П. Виноградов высказал предположение, что основная масса азота в изверженных породах находится в свободном состоянии, а аммиак образуется каталитическим путем вследствие выделения породами азота и водорода при нагревании. Наиболее обогащены связанным азотом основные породы, наименее — ультраосновные. Щелочные породы и граниты занимают промежуточное положение (Виноградов и др., 1963; Волюнец и Фридман, 1965).

Сероводород, содержащийся в газах поверхностных отложений, осадочных пород и связанных с ними месторождений полезных ископаемых, чаще всего имеет биохимическое происхождение. Он образуется в резуль-

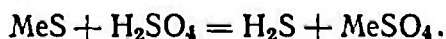
тате разложения белковых веществ, содержащих серу, и восстановления сульфатов сульфатредуцирующими бактериями. По данным ряда исследователей (Сорокин; 1957; Крамаренко, 1956 и др.), сульфаты довольно интенсивно могут восстанавливаться при их взаимодействии с органическим веществом, углеводородными газами и водородом.

Восстановление сульфатов углеводородными газами при воздействии бактерий может происходить по следующей схеме:



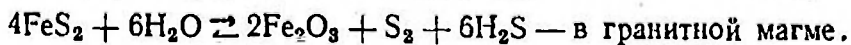
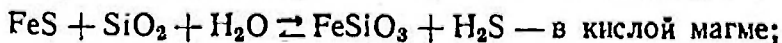
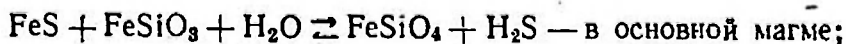
А. Л. Козлов (1950) считает, что в результате жизнедеятельности указанных микроорганизмов происходит окисление значительных количеств нефти или углеводородных газов. Содержание сероводорода, образующегося биохимическим путем, обычно составляет сотые, реже — десятые доли процента, что обусловлено его большой растворимостью в подземных водах. Вблизи земной поверхности он легко разлагается.

Значительное количество сероводорода образуется в результате обменных реакций, протекающих в зонах окисления сульфидных руд. При окислении последних образуются кислые воды, взаимодействие которых с сульфидами и приводит к образованию сероводорода:



В результате указанных реакций образуется также сернистый газ (вследствие окисления образующейся серы атмосферным кислородом).

Часть сероводорода, содержащегося в изверженных породах и сульфидных рудах, сингенетична им, т. е. имеет магматическое происхождение. С. Мацуо считает, что образование сероводорода в магмах происходило в результате ряда гетерогенных реакций:



Он, в частности, сделал вывод: чем кислее магма, тем больше в ней сернистых соединений.

Гелий образуется в основном в результате α -распада таких тяжелых радиоактивных элементов, как уран,

радий, торий¹. Кроме упомянутых элементов источником образования гелия служит изотоп самария (${}_{62}\text{Sm}^{147}$), который также испускает α -частицы.

Согласно современным представлениям наибольшее содержание радиоактивных элементов находится в верхней гранитной оболочке и в верхней части земной коры — осадочной оболочке. Интенсивность гелиеобразования зависит от распределения радиоактивных элементов в породах, что определяется как их типом (изверженные или осадочные), так и составом (кислые, средние, основные или ультраосновные, карбонатные, глинистые или песчаные). В осадочных породах распределение радиоактивных элементов в значительной степени зависит от наличия в них органического вещества. Максимальным содержанием радиоактивных элементов, а следовательно возможностью генерации гелия, обладают из изверженных пород граниты, а из осадочных — песчаники, образовавшиеся в результате размыва и переотложения кислых изверженных пород, а также фосфаты и глинистые породы с органическим веществом. Выделяющийся из кристаллической решетки радиоактивных элементов гелий благодаря тектоническим подвижкам и метаморфизму пород мигрирует по разрывным нарушениям и при благоприятных условиях (наличие газонепроницаемой покрышки и антиклинальных структур) может накопиться в значительных количествах.

Аргон. Изотоп Ar^{40} образовался в основном в результате радиоактивного распада K^{40} при захвате ядром одного электрона (K-захват). Концентрация калия, а следовательно возможность возникновения аргона, зависит от состава пород. Особенно много K^{40} в галогенных породах. Следует отметить, что не весь он переходит в аргон. Основная часть K^{40} (88,8%) распадается с образованием Ca^{40} и только 11,2% с образованием Ar^{40} (Якуцени, 1963).

Аргон значительно лучше гелия удерживается минералами. В связи с тем, что калий распространен в природе гораздо шире, чем элементы урано-ториевого ряда, в продуцировании аргона принимают участие не только породы верхней части земной коры, но и нижние зоны,

¹ В атмосфере гелий образуется также в результате ударов α -частиц первичного космического излучения.

в частности мантия. С процессами дегазации мантии и земной коры, по мнению А. П. Виноградова (1964), связано накопление аргона в атмосфере. Аргон выделяется из пород и минералов, находящихся на поверхности земли в результате их разрушения, а также поступает по разломам из более глубоких горизонтов. Последнее подтверждается наличием значительного количества его в ряде проб газов из вулканов и фумарол.

**ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ПОРОД И РУД, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ
И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ**

Газоносность месторождений полезных ископаемых и, следовательно, миграция природных газов, локализация газовых скоплений и газосодержание пород зависят от пористости и проницаемости пород. Определенное значение в ряде случаев имеет и сорбционная емкость пород.

Следует отметить, что размещение промышленного оруденения иногда определяется также и коллекторскими свойствами пород. Высокая миграционная способность рудоносных растворов, обуславливающая локализацию месторождений на значительном расстоянии от генерирующего очага, указывает, что на их перемещение, так же как и природных газов, оказывают решающее влияние такие физические свойства пород, как пористость и газопроницаемость.

Пористость имеет важное значение при определении газоносности пород, так как существует прямая зависимость между объемом порового пространства и газоемкостью их.

Величина общей пористости зависит от размеров и формы минералов или составляющих осадочную породу зерен, характера их расположения, степени отсортированности, наличия цементирующего вещества.

Минимальное значение общей пористости характерно для изверженных, метаморфических пород и массивных руд, более высокое — для осадочных пород (табл. 3). Общая пористость изверженных пород зависит от величины зерен и от микротрещиноватости. В монолитных изверженных породах и рудах общая пористость часто не превышает 1—2%. В осадочных породах более высокой общей пористостью обладают обломочные, сла-

Общая пористость пород

Таблица 3

Породы и руды	Среднее значение коэффициента общей пористости, %	Исследователь
Граниты и гранодиориты (Северный Кавказ)	3—4,46	А. И. Фридман (1959, 1961)
Кварцевые альбитофирры (Северный Кавказ)	5,09	То же
Туфы кислого и среднего состава (Северный Кавказ)	3,77—4,30	»
Основные породы (Норильский район)	5,8—9,8	Т. Р. Данилова (1966 г.)
Нефелиновые сиениты (Хибиньы)	3,69—4,18	А. И. Фридман и др. (1963)
Апатитовые руды (Хибиньы)	4,50	То же
Медноколчеданные руды (Северный Кавказ)	5,21	А. И. Фридман (1959, 1961)
Метаморфические породы: кремнистые сланцы, кварцево-серпичитовые и филлитовые сланцы (Северный Кавказ)	3,93—5,26	То же
звезстняки и мергели (Норильский район)	6,1—10,2	Т. Р. Данилова (1966)
Газоносные песчаники (Саратов)	16—21	И. В. Высоцкий (1954)
Нефтяные пески (Баку)	25—50	То же
Алины (сухие)	Дс 47	В. А. Соколов (1956)
Кригиллиты (Северный Кавказ)	8,46	А. И. Фридман (1959, 1961)
Наменные угли и антрациты (Донбасс)	8,3—9,7	Г. Д. Лидин (1949)

босцементированные породы, а также породы, содержащие включения органического вещества. Повышение общей пористости цементированных осадочных пород происходит по мере увеличения их трещиноватости.

Основным отличием пористости метаморфических, изверженных пород и руд от пористости осадочных образований, кроме количественных значений, является то, что поры первых в основном замкнутые, не сообщающиеся; а во вторых больше открытых пор. Вследствие этого мо-

нолитные изверженные и метаморфические породы являются плохими коллекторами и не могут содержать значительных количеств газов.

Общая пористость не может характеризовать коллекторские свойства пород, так как перемещение природных газов и жидкостей происходит по открытым порам.

Открытая или свободная пористость соответствует только объему сообщающихся пор и, следовательно, меньше общей на объем замкнутых, изолированных друг от друга пор и микротрещин. Величина открытой пористости зависит от степени цементации пород, ее характера и типа.

Основное значение для характеристики коллекторских свойств пород имеет эффективная (или полезная) пористость, обусловленная связанными между собой порами и пустотами, по которым могут передвигаться различные флюиды. Именно эффективная пористость определяет газонасыщенную часть свободного порового пространства породы, из которого газ легко выделяется. Она представляет собой открытую пористость за вычетом остаточной воды, содержащейся в породе (Ханин, 1962). Остаточная, или связанная, вода уменьшает сечение пор, что приводит к изменению интенсивности перемещения газов и жидкости через породу. А. А. Ханин (1963) установил, что образование связанной воды на поверхности частиц пород обусловлено как химическими, так и физическими силами. Максимальное содержание остаточной воды (до 90%) отмечается у алевроитистых и глинистых пород, обладающих минимальной проницаемостью.

Максимальные значения эффективной пористости характерны для слабцементированных обломочных пород (песков и песчаников). В последних она достигает 37% (Пермяков и др., 1957 г.). Эффективная пористость рудовмещающих песчаников нижнего мела одного из ртутных месторождений Северо-Западного Кавказа — 14,35—15,40%.

Сухие глины обладают большей общей пористостью, однако эффективная пористость у них по сравнению с песками и песчаниками ничтожна. Это объясняется тем, что в глинах развиты заполненные связанной водой мел-

Общая пористость пород

Таблица 3

Породы и руды	Среднее значение коэффициента общей пористости, %	Исследователи
Граниты и гранодиориты (Северный Кавказ)	3—4,46	А. И. Фридман (1959, 1961)
Кварцевые альбитофиры (Северный Кавказ)	5,09	То же
Туфы кислого и среднего состава (Северный Кавказ)	3,77—4,30	»
Основные породы (Норильский район)	5,8—9,8	Т. Р. Данилова (1966 г.)
Нефелиновые сиениты (Хибинны)	3,69—4,18	А. И. Фридман и др. (1963)
Апатитовые руды (Хибинны)	4,50	То же
Медноколчеданные руды (Северный Кавказ)	5,21	А. И. Фридман (1959, 1961)
Метаморфические породы: кремнистые сланцы, кварцево-серпичитовые и филлитовые сланцы (Северный Кавказ)	3,93—5,26	То же
звзстняки и мергели (Норильский район)	6,1—10,2	Т. Р. Данилова (1966)
Газоносные песчаники (Саратов)	16—21	И. В. Высоккий (1954)
Нефтяные пески (Баку)	25—50	То же
Алины (сухие)	Дс 47	В. А. Соколов (1956)
Кргиллиты (Северный Кавказ)	8,46	А. И. Фридман (1959, 1961)
Наменные угли и антрациты (Донбасс)	8,3—9,7	Г. Д. Лидин (1949)

босцементированные породы, а также породы, содержащие включения органического вещества. Повышение общей пористости сцементированных осадочных пород происходит по мере увеличения их трещиноватости.

Основным отличием пористости метаморфических, изверженных пород и руд от пористости осадочных образований, кроме количественных значений, является то, что поры первых в основном замкнутые, не сообщающиеся; а во вторых больше открытых пор. Вследствие этого мо-

нолитные изверженные и метаморфические породы являются плохими коллекторами и не могут содержать значительных количеств газов.

Общая пористость не может характеризовать коллекторские свойства пород, так как перемещение природных газов и жидкостей происходит по открытым порам.

Открытая или свободная пористость соответствует только объему сообщающихся пор и, следовательно, меньше общей на объем замкнутых, изолированных друг от друга пор и микротрещин. Величина открытой пористости зависит от степени цементации пород, ее характера и типа.

Основное значение для характеристики коллекторских свойств пород имеет эффективная (или полезная) пористость, обусловленная связанными между собой порами и пустотами, по которым могут передвигаться различные флюиды. Именно эффективная пористость определяет газонасыщенную часть свободного порового пространства породы, из которого газ легко выделяется. Она представляет собой открытую пористость за вычетом остаточной воды, содержащейся в породе (Ханин, 1962). Остаточная, или связанная, вода уменьшает сечение пор, что приводит к изменению интенсивности перемещения газов и жидкости через породу. А. А. Ханин (1963) установил, что образование связанной воды на поверхности частиц пород обусловлено как химическими, так и физическими силами. Максимальное содержание остаточной воды (до 90%) отмечается у алевроитистых и глинистых пород, обладающих минимальной проницаемостью.

Максимальные значения эффективной пористости характерны для слабощементированных обломочных пород (песков и песчаников). В последних она достигает 37% (Пермяков и др., 1957 г.). Эффективная пористость рудовмещающих песчаников нижнего мела одного из ртутных месторождений Северо-Западного Кавказа — 14,35—15,40%.

Сухие глины обладают большей общей пористостью, однако эффективная пористость у них по сравнению с песками и песчаниками ничтожна. Это объясняется тем, что в глинах развиты заполненные связанной водой мел-

кне субкапиллярные поры, через которые невозможно перемещение газа.

Важное значение для миграции природных газов различных флюидов в породах имеет размер пор. По размерам поры подразделяются на сверхкапиллярные, капиллярные и субкапиллярные. К сверхкапиллярным относятся поры диаметром более 0,5 мм, в которых газы и жидкость могут перемещаться под действием силы тяжести. Капиллярные поры имеют диаметр от 0,5 до 0,0002 мм. В них движение жидкости определяется в основном силами поверхностного натяжения. Субкапиллярные поры — пустоты диаметром менее 0,0002 мм. В таких порах не происходит перемещение газов и жидкостей, а имеет место лишь движение молекул вследствие изменения давления и температур.

Пористость всех пород складывается из первичной и вторичной. К первичным относятся поры, которые возникли одновременно с породой. По данным С. Эллисона (1957), в первичную пористость изверженных пород входят промежутки между группами кристаллов — пористость кливажа и между отдельными кристаллами, а также пустоты, образованные газами, выделяющимися во время застывания магмы. Важное значение в пористости изверженных пород имеют и микротрещины, возникшие в результате охлаждения расплавленных масс. Первичная пористость осадочных пород, по данным С. Эллисона, обусловлена различием отлагавшегося материала, разными размерами частиц, их взаимным расположением, а также условиями осаждения. К первичным порам относятся пустоты в породах, образовавшиеся в результате скопления раковин и разложения содержащихся в породе организмов, промежутки между плоскостями наложения.

Вторичные (наложенные) поры возникают в уже сформировавшихся породах при складкообразовании различных тектонических подвижках, обуславливающих разрывы сплошности и перемещение пород, сопровождаемые зонами дробления и повышенной трещиноватости (поры и микротрещины, расположенные параллельно трещинам скола, плейчатости, зеркалам скольжения и т. д.). Кроме того, они образуются в результате воздействия термальных растворов, обуславливающих как появление минеральных новообразований, так и выщелачивание пород.

Вторичная пористость обусловлена также растворяющим действием вод, процессами выветривания и т. д.

Пористость пород сказывается на их проницаемости. Однако зависимость между пористостью и проницаемостью в основном качественная. Прямая зависимость отмечается лишь для пород, обладающих высокой эффективной пористостью.

Газопроницаемость. Породы подразделяются на проницаемые и непроницаемые (очень плохо проницаемые). К проницаемым обычно относятся пески, песчаники, кавернозные известняки и другие породы, обладающие эффективной пористостью, к непроницаемым — почти все метаморфические и изверженные породы, руды, кристаллические известняки, обломочные породы с обилием непроницаемого цемента и глины.

Изучением вопросов миграции занимались многие исследователи. Большую работу в этой области провел В. А. Соколов (1956, 1965).

Миграция природных газов в породах происходит по порам, микротрещинам, крупным трещинам, раздробленным зонам вблизи разрывных нарушений, а также через само вещество породы. В связи с этим различают два основных вида миграции: диффузию и эффузию, или фильтрацию¹.

Диффузия газа — передвижение его молекул через какое-либо вещество. Она обусловлена собственным тепловым движением молекул, которое происходит вследствие наличия градиента концентрации данного газа и по направлению данного градиента, т. е. диффузия ведет к выравниванию концентрации.

В природных условиях имеют место следующие виды диффузии: 1) одного газа в другом; 2) газа в жидкости; 3) газа в сплошных твердых телах. Эти виды диффузии взаимосвязаны. Ввиду того, что основной объем пустот в породах обычно заполнен водой, газ, как правило,

¹ В последнее время выделяют еще один вид миграции — диффузия газа в породах, обладающих свойствами молекулярных сит (Соколов и др., 1962). Особенности диффузионного процесса здесь обусловлены молекулярно-ситовым действием некоторых плотных пород и отдельных минералов (в частности, цеолитов) и связаны с адсорбцией различных газовых компонентов в узких порах, имеющих размеры, близкие к размерам молекул газа.

проходит через насыщенные водой породы. Скорость диффузии через эти породы в 8—100 раз меньше, чем в воде (Карцев, Шугрин, 1964). Скорость диффузии в породах уменьшается с их уплотнением и цементацией. Минимальная скорость диффузии отмечается в сплошных изверженных породах.

Значение диффузии в миграции значительных количеств природных газов невелико. Так, по данным В. А. Солодова (1956), через 1 м² поверхности пород за 1 млн. лет могло продиффундировать: аргиллиты — от 3,6 до 20,6 м³; песчаники — от 9 до 18,2 м³; мрамор — 2,4 м³. Однако, несмотря на значительные масштабы диффузионного потока в течение длительного геологического времени, в результате этого процесса не образовались сколько-нибудь значительные газовые скопления. Гораздо большую роль в перемещении и аккумуляции природных газов играют процессы фильтрации или эфффузии.

Интенсивность фильтрации газов определяется в основном проницаемостью пород, которая изменяется в широких пределах. Наиболее проницаемыми являются рыхлые пески и слабосцементированные крупнозернистые песчаники, для которых газопроницаемость превышает 3000 мд. Газопроницаемость плотных обломочных пород зависит от количества и типа цемента. Песчаники, гравелиты и конгломераты с обилием глинистого, карбонатного или кремнистого цемента почти непроницаемы. Карбонатные породы могут обладать как хорошей, так и ничтожной газопроницаемостью. Наименее проницаемы влажные глины.

Газопроницаемость осадочных пород по напластованию значительно выше, чем в направлении, перпендикулярном к ней. В отдельных случаях она превышает проницаемость в направлении, перпендикулярном к напластованию, в 10 раз и больше. Минимальной газопроницаемостью (иногда не более 10⁻³—10⁻⁴ мд) характеризуются монолитные изверженные породы (табл. 4).

По проницаемости все породы подразделяются Г. И. Теодоровичем (1943 г.) на шесть классов: I — очень хорошо проницаемые (более 1000 мд); II — хорошо проницаемые (от 100 до 1000 мд); III — среднепроницаемые (от 10 до 100 мд); IV — слабопроницаемые (от 1 до 10 мд); V — очень слабо проницаемые (от 0,1

Таблица 4

Газопроницаемость пород и руд

Породы и руды	Газопроницаемость, <i>мд</i>	Исследователи
Кварцевые альбитофиры и их туфы (медноколчеданные месторождения Северного Кавказа)	0,017—1,99	А. И. Фридман
Габбро-диабазы (Норильский район)	0,0001—0,001	То же
Порфириты	0,0004—0,002	»
Щелочные породы (Хибины)	0,0005—0,012	»
Апатито-нефелиновые руды (Хибины)	0,0004—0,012	»
Медно-никелевые руды (Норильский район)	0,001	»
Медноколчеданные руды (Северный Кавказ)	0,001—3,55	»
Цементированные грубообломочные породы (рудные месторождения Северного Кавказа)	0,009—2,12	»
Пески (Баку)	До 2500	В. А. Соколов (1956)
Песчаники (Грозный)	0,0005—1000	То же
Глины (ртутные месторождения Краснодарского края)	0,0001—0,01	А. И. Фридман
Аргиллиты (медноколчеданные месторождения Северного Кавказа)	0,014—2,312	То же
Метаморфические породы: кремнистые сланцы, кварцитовидные породы, филлиты и т. д. (Северный Кавказ)	0,001—0,663	»

до 1 *мд*); VI — практически непроницаемые (менее 0,1 *мд*). Монолитные изверженные и метаморфические породы по проницаемости могут быть отнесены в основном к последним двум классам. Глинистые и обломочные породы с плотным глинистым или карбонатным цементом также относятся главным образом к слабопроницаемым, очень слабо проницаемым и практически непроницаемым породам. В связи с этим перемещение природных газов происходит в основном по трещинам и разрывным нарушениям, сопровождаемым зонами раздробленных и перемятых пород. В таких породах проницаемость почти целиком обусловлена трещиноватостью. Так, если для монолитных нижнемеловых песчаников одного из ртутных месторождений Северо-Западного Кавказа газопроницаемость составляет 0,4—55,0 *мд* (для высокопористых разностей), то при наличии одной тре-

щинки шириной 0,3—0,5 мм она достигала 3904 мд. По данным ряда исследователей, проницаемость трещиноватых пород может составлять 10—15 тыс. мд. У. Л. Рассел (1958) для гладкой трещины шириной 0,25 мм указывает проницаемость, равную 5 400 000 мд.

В природных условиях трещины часто заполнены различным цементирующим материалом (кварц, карбонаты, глинистое вещество и т. д.), что в значительной степени ограничивает интенсивность эффузии газов. Однако цементация трещин не бывает полной, и отдельные участки их благоприятны для фильтрации.

Таким образом, основными путями перемещения природных газов служат открытые трещины, зоны раздробленных пород и разрывные нарушения. Кроме того, сильно трещиноватые и нарушенные породы являются хорошими коллекторами трещинного типа. Разрывные нарушения и зоны повышенной трещиноватости пород являлись основными путями перемещения рудоносных растворов и локализации рудного материала. Плотные монолитные породы служат непроницаемым экраном, способствующим сохранению газовых скоплений и препятствующих дегазации месторождений.

Сорбция. Благодаря сорбции — способности твердых тел поглощать газы и жидкости, все горные породы содержат те или иные количества природных газов.

Различают три вида сорбции: адсорбцию (поглощение газа вследствие притяжения его молекулами поверхности твердого тела), абсорбцию (твердые тела могут растворять в своем веществе газ) и хемосорбцию (твердые тела вступают с газом в обратимую химическую связь). Основное значение имеет адсорбция, поэтому под сорбцией часто подразумевают поглощение газов породами.

Адсорбционная поверхность зависит от пористости, однако главную роль играет не только число пор, но и их размер, форма и связь друг с другом. Очень большим числом ультрамикropор обладают каменные угли, которые являются хорошим природным сорбентом. Сорбируемость газа породами определяется также его давлением и составом, температурой окружающей среды и влажностью.

Давление газов оказывает большое влияние на сорбцию их породами: с увеличением давления газа сорбция

значительно повышается вплоть до состояния насыщения пород газами, которое происходит при давлении 100—150 ат (Багринцева, Козловцева, 1964).

Сорбируемость природных газов зависит от молекулярного веса отдельных компонентов: чем выше молекулярный вес газа, тем больше его сорбируемость (рис. 1). По данным В. А. Соколова (1956), количество сорбированного пропана более чем в 10 раз превышает количество метана. Сорбируемость углекислого газа примерно в 4 раза больше сорбируемости метана и в 13 раз — азота (Элинсон, 1963).

С увеличением температуры количество сорбированного газа уменьшается. При высоких давлениях влияние температуры сказывается гораздо меньше.

Большое значение для сорбции газов имеет влажность пород, так как вода заполняет поры и обволакивает их поверхность, не допуская молекулы газа к непосредственному контакту с породой. По данным М. М. Элинсон, при увлажнении каменных углей на 2,5% их сорбционная емкость уменьшалась в 1,5—2,0 раза.

Максимальной сорбционной емкостью в природных условиях обладают каменные угли. По данным Б. М. Зимакова (1965), количество сорбированного метана в углях Печорского бассейна составляет для газовых и длиннопламенных углей 3,0—4,0 см³/г, а для углей высокой стадии метаморфизма — тощих — 5,0 см³/г. С увеличением давления до 40 ат их сорбционная емкость достигает 45—50 см³/г. Почти аналогичные данные были по-

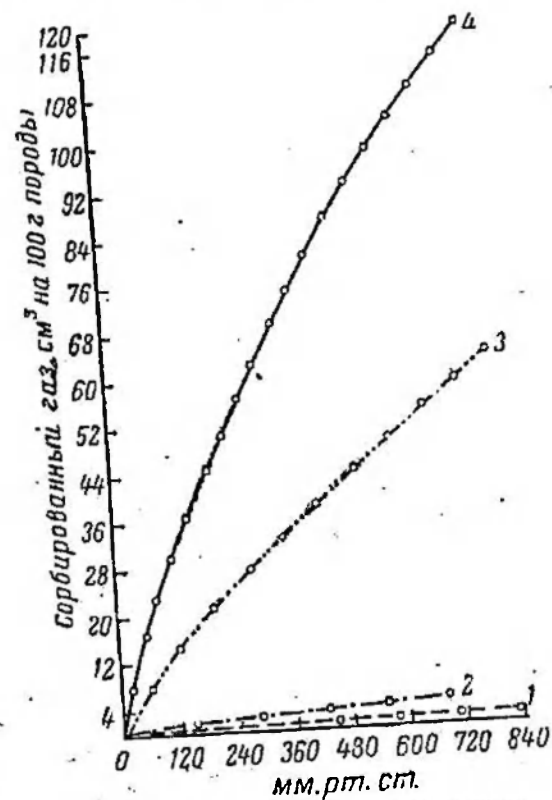


Рис. 1. Сорбция газов песчанником 1—азот; 2—метан; 3—пропан; 4—бутан.

лучены для каменных углей Донецкого и Кузнецкого бассейнов (Еремин и др., 1965 г.; Элинсон, 1963). Сорбционная емкость углей Норильского района почти такая же, но вблизи контакта с интрузивными телами она резко уменьшается.

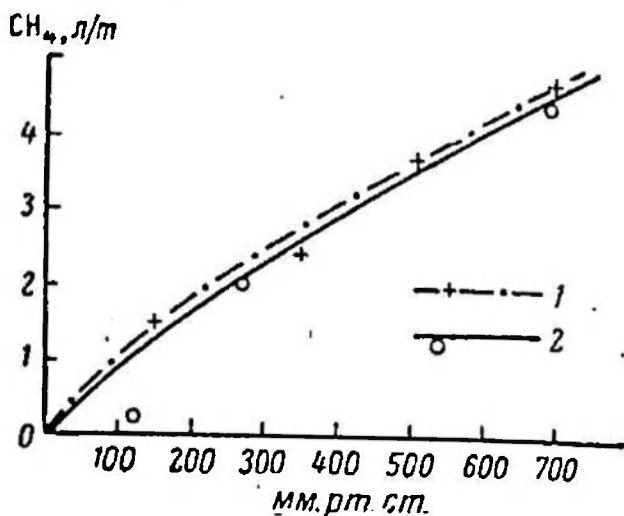


Рис. 2. Изотерма адсорбции метана (по Г. И. Войтову).
1—на уртите; 2—на апатите.

Сорбционные свойства горных пород изучены гораздо хуже, чем углей. В природных условиях все породы являются плохими сорбентами газа. Количество газов, сорбируемых осадочными породами, по данным ряда исследователей, не превышает 0,01—0,6 $см^3/г$. Наибольшей сорбционной емкостью характеризуются глинистые породы, обладающие максимальным числом мелких пор и, следовательно, имеющих большую адсорбционную поверхность, минимальной — менее 0,007 $см^3/г$ — известняки (Соколов, 1965).

Породы — адсорбенты неоднородные, так как различные минералы и цементирующее их вещество обладают неодинаковыми сорбционными свойствами. К. И. Багринцева и З. И. Козловцева (1964) установили, что количество газов, сорбируемых песчаниками и алевролитами, находится в прямой зависимости от состава и типа цементирующего материала. В частности, сорбционная емкость уменьшается в разностях, в которых глинистый цемент сменяется карбонатным.

Важное значение для сорбции природных газов породами имеет присутствие в них углистого и битуминозного вещества. Сорбционная емкость таких пород определяется почти исключительно количеством содержащегося органического вещества.

Сорбционная емкость изверженных пород почти не изучалась. Имется лишь несколько определений сорбционной емкости щелочных пород и апатитовых руд Хибинского щелочного массива. При нормальных условиях сорбционная емкость уртитов составляла $0,00515 \text{ см}^3/\text{г}$, богатой апатитовой руды — $0,00511 \text{ см}^3/\text{г}$ (рис. 2) (Войтов и др., 1963). Такое ничтожное количество сорбированных газов обусловлено очень малой адсорбционной поверхностью изверженных пород, обладающих небольшим количеством замкнутых, изолированных друг от друга пор. По этой же, по-видимому, причине весьма небольшой сорбционной емкостью обладают и метаморфические породы.

Таким образом, вследствие небольшой эффективной пористости основной массы осадочных и тем более изверженных и метаморфических пород и их ничтожной сорбционной емкости (исключение составляют угольные пласты и осадочные породы, обогащенные органическим веществом) природные газы в основном находятся в свободном состоянии в трещинах и трещиноватых зонах, а также растворены в подземных водах.

ГАЗОНОСНОСТЬ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИИ И ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ОБРАЗОВАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НАЛИЧИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ И ДРУГИХ ГАЗОВ В РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Первые сведения о газах, не связанных происхождением с органическим веществом осадочных пород, были получены еще в конце XVIII и начале XIX столетия.

В 1822 г. Деви удалось изучить газ, заключенный в отдельных кристаллах, который, по его определению, был чистым азотом.

В 1858 г. Симмер установил присутствие в минералах изверженных пород углекислого газа, азота и следов водорода. Наличие указанных компонентов в газе было подтверждено спектральными исследованиями, выполненными в 1869 г. Фогельзангом и Гейслером.

Эпизодические исследования состава газов изверженных пород и отдельных минералов проводили Г. Хью (1881 г.), А. П. Карпинский (1880), В. Э. Гиллебрант (Hillebrand, 1888), В. Рамзай (Ramsay, 1897), В. А. Тильден (Tilden, 1897), установившие в газах большое количество углекислого газа (до 98,33%), окись углерода, водород, метан и гелий.

В 1900—1901 гг. А. Готье провел интересные с методической точки зрения опыты. В то время как все предыдущие исследователи извлекали газ, нагревая образцы пород (гранит, гранит-порфир, офит и др.) и минералы до красного каления, Готье извлекал газ при температуре 100°С в вакууме. Эти же образцы он испытывал при 300°С в присутствии и отсутствии воды. В выде-

лившемся газе он определил (в %): CO_2 9—35; CO 1,99—5,5; CH_4 1,09—2,53; H_2 31—82,8; $\text{N}_2 + \text{Ar}$ 0,40—2,10.

Интересные исследования газов, содержащихся в изверженных породах, были проведены Р. Т. Чемберленом (Chamberlin, 1908). В газах, выделившихся при сильном нагревании пород в вакууме, он обнаружил сероводород, углекислый газ, окись углерода, метан, водород и азот.

Работы А. Готье и Р. Т. Чемберлена показали, что выделяющиеся при нагревании газы образовались в основном в результате химических реакций, протекающих при различных температурах между соединениями металлов и содержащейся в породах водой. В частности, углекислый газ преобладал при сравнительно низких температурах, а значительные концентрации водорода отмечались лишь при температуре более 500°C .

Исследования по определению состава газов, выделяющихся при сильном (до 1200°C) нагревании различных изверженных пород, проведенные Х. С. Никогосьяном (1940), в основном подтвердили результаты и выводы А. Готье и Р. Т. Чемберлена.

В дальнейшем изучение газов минералов и изверженных пород проводил Э. С. Шеферд (Shepherd, 1925), который в образцах андезитовой лавы, кроме углекислого газа, окиси углерода и водорода, обнаружил серу, хлор и фтор. Интересные результаты были получены А. А. Черепенниковым, установившим в газах, извлеченных из изумрудов, гелий и аргон.

В последние годы широко исследуются газы изверженных и метаморфических пород в Московском геологоразведочном институте им. С. Орджоникидзе, Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР и Кольском филиале АН СССР.

О составе газов изверженных пород и условиях их образования в известной мере можно судить по газам, выделяющимся из действующих вулканов. В этом отношении большой интерес представляют результаты работ как советских, так и зарубежных исследователей: С. И. Набоко, Л. А. Башариной, И. З. Ивановой, Г. Тазиева, А. Эллиса, Д. Уайта, Г. Уоринга и др. Они установили, что состав выделяющихся вулканических газов в значительной степени зависит от состава лавы, усло-

вий излияния и температуры выделения газовой смеси из магмы.

В отечественной и зарубежной практике были зафиксированы выделения значительных количеств горючих газов (главным образом метана) из изверженных и метаморфических пород рудных месторождений. Подобные случаи отмечались еще в прошлом веке, однако тогда они встречались крайне редко, носили эпизодический характер, как правило, не приводили к опасным последствиям и, вследствие этого, почти совершенно не изучались. В настоящее время число таких случаев значительно возросло. Это обусловлено интенсификацией поисково-разведочных и эксплуатационных работ, при проведении которых вскрываются рудные тела, залегающие на значительной глубине. При этом количество поступающих в рудничную атмосферу газов часто достигает больших величин. Примером могут служить апатитовые рудники Хибин, где появление большого количества горючих газов в рудничной атмосфере было связано с вскрытием более глубоких горизонтов. На многих рудниках штата Онтарио в Канаде, которые разрабатывают медь, цинк, серебро, золото и другие металлы на глубине примерно до 400 м, заметных выделений горючих газов в горных выработках не отмечалось. Однако при вскрытии более глубоких горизонтов на 17 рудниках начались выделения газа, причем на двух из них произошли сильные взрывы и воспламенение газов, в результате чего имелись человеческие жертвы.

Впервые значительное количество горючих газов в рудных месторождениях и вмещающих их изверженных породах на территории СССР было установлено в 1925 г. при бурении скважин на Нижне-Тагильском дунитовом массиве (А. Н. Заварицкий, 1925; А. А. Черепенников, 1936). Из скважины на глубине 600 м наблюдались довольно интенсивные выбросы. Выделяющийся газ состоял из следующих компонентов (в %): CO_2 — 0,5; CH_4 — 9,2; H_2 — 81,8; N_2 + р. г. (редкие газы) — 8,5. В 1934 г. газопроявления были отмечены в эффузивных породах девонского возраста при бурении неглубоких скважин в районе Ириклинского ущелья на р. Урал (65 км от г. Орск). Согласно данным А. А. Черепенникова (1936), газ состоял из CO_2 — 0,2%; CH_4 — следы, H_2 — 80,4%; N_2 + р. г. — 19%, в том числе легких инертных газов —

0,0010% и тяжелых инертных газов — 0,478%. Примерно в это же время на Урале было отмечено газирование отдельных разведочных скважин на колчеданном месторождении Блява, скважин, пробуренных в районе Магнитогорска, и т. д.

Крупные газопроявления со значительной концентрацией метана, в отдельных случаях водорода и тяжелых углеводородных соединений (этана и его гомологов) были зафиксированы на одном из золоторудных месторождений района Кальгурли (Австралия), алмазоносных, золотых и урановых месторождениях Южной Африки, Мансфельдских медных рудниках и многих других рудных месторождениях мира.

В Советском Союзе наиболее детально изучена газоносность медноколчеданных, полиметаллических и ртутных месторождений Северного Кавказа, медно-никелевых месторождений Норильского района, Балейских золоторудных (Восточное Забайкалье) и Хибинских апатито-нефелиновых месторождений и некоторых других.

РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕВЕРНОГО И СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

В связи с интенсивным развитием геологоразведочных и эксплуатационных работ на ряде рудных месторождений Северного Кавказа были обнаружены многочисленные газопроявления. В связи с этим в течение последних 10 лет на медноколчеданных месторождениях центральной части Северного Кавказа и ртутных месторождениях Северо-Западного Кавказа проводилось детальное изучение состава природных газов, приуроченности и происхождения отдельных газовых компонентов.

Медноколчеданные месторождения

В пределах описываемого региона исследованы Бескесское, Урупское, Власинчихинское, Скалистое и Худесское медноколчеданные месторождения, приуроченные к комплексу вулканогенных эффузивно-осадочных пород нижнего, среднего палеозоя, которые прослеживаются неширокой полосой в области Передового хребта.

В строении Бескесского месторождения принимает участие мощная толща зеленокаменных пород, в основа-

нии которых залегает свита филлитовидных сланцев мощностью до 800 м. Эти породы перекрываются диабазами, местами превращенными в хлоритовые сланцы, агломератовыми туфолавами и туфобрекчиями основного состава, переслаивающимися с кварцевыми альбитофирами и хлоритовыми сланцами. Осадочные породы в районе месторождения сильно размыты и сохранились в виде небольших пятен. Они представлены известняками верхнего девона, песчано-глинистыми отложениями среднего и верхнего карбона и конгломератами нижней перми. Вулканогенно-осадочные породы месторождения смяты в крупные пологие складки общекавказского (северо-западного) простирания, разбитые многочисленными разрывными нарушениями. Рудная залежь приурочена к северо-восточному крылу одной из антиклинальных складок.

Подземные воды имеют минерализацию до 0,750 г/л (ультрапресные и пресные) и относятся в основном к гидрокарбонатно-кальциевому типу. Химический состав вод обусловлен свободным водообменом в связи с резко расчлененным рельефом (относительные превышения 800—1000 м) и близостью к источникам питания. В растворенных газах в небольших количествах присутствуют углекислый газ и азот, т. е. газы, свойственные зоне свободного газообмена и характеризующие окислительную обстановку (в пробах подземных вод были установлены также большие концентрации кислорода). В газах, извлеченных из промывочной жидкости бурящихся скважин, горючих компонентов также не было обнаружено. Лишь в замкнутых порах эффузивных пород было отмечено небольшое количество метана. Свободные газовыделения (газовые струи) на Бескесском месторождении отсутствуют.

Несколько иные геологические условия в пределах Урупского района (Урупское, Власинчихинское и Скалистое месторождения), в строении которого принимают участие вулканогенно-осадочные и осадочные породы среднего-верхнего палеозоя и мезозоя. Сильно дислоцированный комплекс среднепалеозойских метаморфизованных вулканогенно-осадочных пород (нижний и средний девон) представлен здесь филлитовидными сланцами, чередующимися с плагноклазовыми порфиритами и содержащими значительное (до 3,22%) количество органи-

ческого вещества, эффузивными и туфогенными образованиями, диабазовыми порфиридами, кварцевыми альбитофирами и их туфами, туфами среднего состава. Рудное тело Урупского месторождения приурочено к контакту кварцевых альбитофиридов и туфов среднего состава, колчеданная залежь Власинчихинского месторождения залегает в кварцевых альбитофиридах, а рудное тело Скалистого месторождения расположено в диабазовых порфиридах. Общая мощность среднепалеозойских пород Урупского района около 3000 м.

Слабодислоцированный комплекс верхнепалеозойских пород представлен в Урупском районе красноцветными лагунно-континентальными образованиями: песчано-глинистыми сланцами, песчаниками и мощной толщей конгломератов нижней перми общей мощностью 600—700 м.

Мезозойский комплекс широко развит в пределах Урупского района. Он представлен аргиллитами и алевролитами с подчиненными им пластами песчаников раннеюрского возраста, которые трансгрессивно перекрывают различные горизонты палеозоя. В глинистых породах в мелкорассеянном состоянии и в виде маломощных линзочек встречается углистое вещество. Общая мощность нижнеюрских отложений около 500 м.

Интрузивные породы здесь развиты слабо и представлены дайками, пластообразными и жильными телами кварцевых диоритов, гранодиоритов, фельзитов и лампрофиридов.

Район Урупских медноколчеданных месторождений расположен в промежуточной зоне между Северокавказской моноклиной и антиклинорием Передового хребта. Выделяются три структурных яруса: среднепалеозойский, верхнепалеозойский и мезозойский. Породы среднего палеозоя собраны в складки субширотного простирания, из которых наиболее крупными являются Урупская и Верхне-Власинчихинская антиклинали, осложненные более мелкой складчатостью. Складчатые структуры осложнены дораннеюрскими и послераннеюрскими сбросами, сопровождающимися зонами повышенной трещиноватости и брекчирования. Породы верхнепалеозойского и мезозойского структурных этажей характеризуются моноклиальным залеганием пород. Отмечается наличие крупных сбросо-сдвигов, сопровождаемых флексуро-

образными изгибами слоев и зонами повышенной трещиноватости пород.

Урупский район характеризуется сложными гидрогеологическими условиями. Наибольшее развитие имеют трещинно-пластовые воды осадочных пород, которые относятся в основном к гидрокарбонатно-кальциевым и имеют минерализацию до 0,240 г/л. Напорные трещинные воды среднепалеозойских эффузивно-осадочных пород относятся к гидрокарбонатно-хлоридно-натриевому (Скалистое и Власничихинское месторождения) и хлоридно-натриевому типам (Урупское месторождение, станция Преградная) и имеют минерализацию до 31 г/л.

Основными компонентами природных газов района являются метан и азот. В ряде случаев отмечаются большие концентрации водорода. В значительно меньшем количестве присутствуют углекислый газ, сероводород и гелий. Тяжелые углеводороды (гомологи метана) встречаются в виде следов (сотые и тысячные доли процента).

Все породы Урупского района характеризуются небольшим газосодержанием — порядка 20—30 см³/кг, редко больше. Максимальное количество природных газов содержится в аргиллитах и алевролитах нижней юры. Доминирующим газовым компонентом этих пород в большинстве случаев является метан, количество которого достигает 86—90% (55,7 см³ на 1 кг породы). Нижнеюрские песчаники и нижнепермские отложения содержат до 10 см³ метана на 1 кг породы. Для всех осадочных пород характерно почти полное отсутствие таких компонентов, как сероводород и водород.

Весьма небольшим газосодержанием (единицы кубических сантиметров в 1 кг породы и лишь в отдельных пробах больше) характеризуются вулканогенные породы нижнего и среднего девона. Почти такое же содержание и состав природных газов имеют медноколчеданные руды, в которых содержание сероводорода иногда достигает 5,47 см³/кг. Основными газовыми компонентами этих пород являются азот, в отдельных случаях углекислый газ, содержание которых иногда достигает несколько десятков кубических сантиметров в 1 кг породы. Горючие газы почти совсем отсутствуют; в незначительных количествах (единицы кубических сантиметров в 1 кг породы) они отмечаются в закрытых порах и микротрещинках. Аналогичным содержанием и составом

газов характеризуются эффузивные породы и других медноколчеданных месторождений Северного Кавказа.

Иную газоносность имеют филлитовидные сланцы, содержащие углистое вещество. По содержанию метана ($14 \text{ см}^3/\text{кг}$) они мало отличаются от песчано-глинистых отложений нижней юры и являются наиболее газоносными породами нижнего и среднего девона.

Незначительная трещиноватость и нарушенность перекрывающих рудовмещающие эффузивные породы осадочных образований нижней перми и нижней юры Урупского района обусловили нахождение основных количеств природных газов в среднепалеозойских отложениях. Это объясняется тем, что низкая проницаемость осадочных пород ($0,1-0,2 \text{ мд}$; проницаемость эффузивных пород в сотни и тысячи раз меньше) препятствует миграции газов и подземных вод из среднепалеозойской толщи в вышележащие породы и атмосферу (рис. 3, 4). Основными путями миграции и аккумуляции являются открытые трещины и зоны раздробленных пород вблизи разрывных нарушений, широко распространенных в интенсивно дислоцированных среднепалеозойских породах. Природные газы здесь в основном находятся в свободном состоянии, а также растворены в подземных минерализованных водах.

Свободные газы Урупского района представлены в основном метаном, азотом, водородом и находятся в трещиноватых зонах, отдельных трещинах и пустотах.

Газосодержание проб промывочной жидкости, изученное при бурении в осадочных породах, редко превышает первые десятки кубических сантиметров в литре. Основным газовым компонентом является азот. Метан встречается в значительно меньших количествах (единицы кубических сантиметров в литре), причем максимальное его содержание отмечается (при бурении скважин) в аргиллитах, обогащенных углистым веществом. Водород и сероводород присутствуют в указанных пробах очень редко и в небольших количествах.

Газосодержание промывочной жидкости, которая служит показателем газонасыщенности трещин в изверженных породах, отобранной при бурении эффузивных и метаморфических пород, характеризуется значительно большими величинами (до $250 \text{ см}^3/\text{л}$). Увеличение газосодержания часто обусловлено попаданием в промывоч-

образными изгибами слоев и зонами повышенной трещиноватости пород.

Урупский район характеризуется сложными гидрогеологическими условиями. Наибольшее развитие имеют трещинно-пластовые воды осадочных пород, которые относятся в основном к гидрокарбонатно-кальциевым и имеют минерализацию до 0,240 г/л. Напорные трещинные воды среднепалеозойских эффузивно-осадочных пород относятся к гидрокарбонатно-хлоридно-натриевому (Скалистое и Власичининское месторождения) и хлоридно-натриевому типам (Урупское месторождение, станция Преградная) и имеют минерализацию до 31 г/л.

Основными компонентами природных газов района являются метан и азот. В ряде случаев отмечаются большие концентрации водорода. В значительно меньшем количестве присутствуют углекислый газ, сероводород и гелий. Тяжелые углеводороды (гомологи метана) встречаются в виде следов (сотые и тысячные доли процента).

Все породы Урупского района характеризуются небольшим газосодержанием — порядка 20—30 см³/кг, редко больше. Максимальное количество природных газов содержится в аргиллитах и алевролитах нижней юры. Доминирующим газовым компонентом этих пород в большинстве случаев является метан, количество которого достигает 86—90% (55,7 см³ на 1 кг породы). Нижнеюрские песчаники и нижнепермские отложения содержат до 10 см³ метана на 1 кг породы. Для всех осадочных пород характерно почти полное отсутствие таких компонентов, как сероводород и водород.

Весьма небольшим газосодержанием (единицы кубических сантиметров в 1 кг породы и лишь в отдельных пробах больше) характеризуются вулканогенные породы нижнего и среднего девона. Почти такое же содержание и состав природных газов имеют медноколчеданные руды, в которых содержание сероводорода иногда достигает 5,47 см³/кг. Основными газовыми компонентами этих пород являются азот, в отдельных случаях углекислый газ, содержание которых иногда достигает несколько десятков кубических сантиметров в 1 кг породы. Горючие газы почти совсем отсутствуют; в незначительных количествах (единицы кубических сантиметров в 1 кг породы) они отмечаются в закрытых порах и микротрещинках. Аналогичным содержанием и составом

газов характеризуются эффузивные породы и других медноколчеданных месторождений Северного Кавказа.

Иную газоносность имеют филлитовидные сланцы, содержащие углистое вещество. По содержанию метана ($14 \text{ см}^3/\text{кг}$) они мало отличаются от песчано-глинистых отложений нижней юры и являются наиболее газоносными породами нижнего и среднего девона.

Незначительная трещиноватость и нарушенность перекрывающих рудовмещающие эффузивные породы осадочных образований нижней перми и нижней юры Урупского района обусловили нахождение основных количеств природных газов в среднепалеозойских отложениях. Это объясняется тем, что низкая проницаемость осадочных пород ($0,1-0,2 \text{ мд}$; проницаемость эффузивных пород в сотни и тысячи раз меньше) препятствует миграции газов и подземных вод из среднепалеозойской толщи в вышележащие породы и атмосферу (рис. 3, 4). Основными путями миграции и аккумуляции являются открытые трещины и зоны раздробленных пород вблизи разрывных нарушений, широко распространенных в интенсивно дислоцированных среднепалеозойских породах. Природные газы здесь в основном находятся в свободном состоянии, а также растворены в подземных минерализованных водах.

Свободные газы Урупского района представлены в основном метаном, азотом, водородом и находятся в трещиноватых зонах, отдельных трещинах и пустотах.

Газосодержание проб промывочной жидкости, изученное при бурении в осадочных породах, редко превышает первые десятки кубических сантиметров в литре. Основным газовым компонентом является азот. Метан встречается в значительно меньших количествах (единицы кубических сантиметров в литре), причем максимальное его содержание отмечается (при бурении скважин) в аргиллитах, обогащенных углистым веществом. Водород и сероводород присутствуют в указанных пробах очень редко и в небольших количествах.

Газосодержание промывочной жидкости, которая служит показателем газонасыщенности трещин в изверженных породах, отобранной при бурении эффузивных и метаморфических пород, характеризуется значительно большими величинами (до $250 \text{ см}^3/\text{л}$). Увеличение газосодержания часто обусловлено попаданием в промывоч-

Данные по промывочной
жидкости

Данные по керну

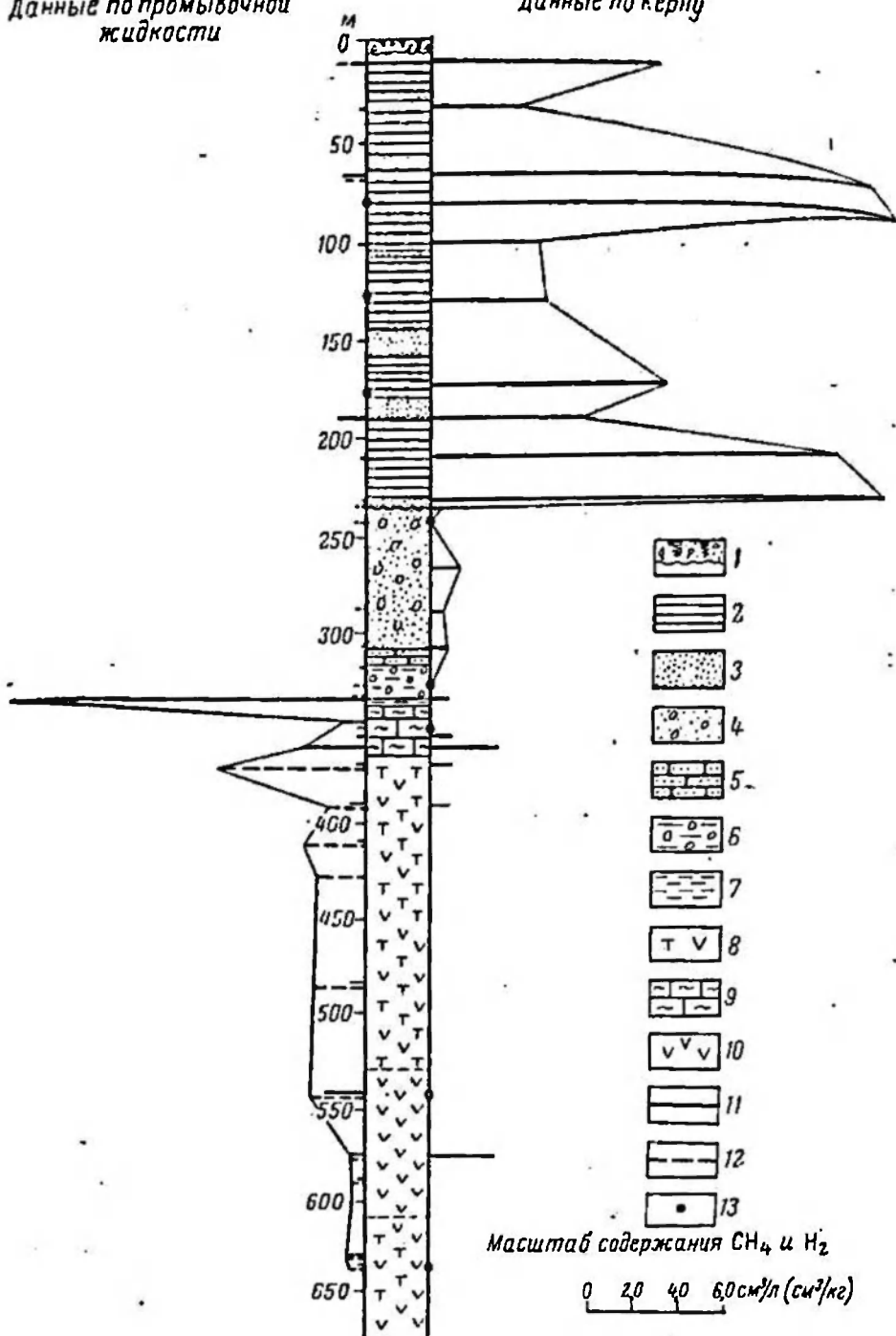


Рис. 3. Разрез скважины Урупского медноколчеданного месторождения с нанесенными данными газового опробования.

1—четвертичные отложения; нижнеюрские отложения: 2—песчанистые аргиллиты, 3—песчаники; нижнепермские отложения: 4—конгломераты песчанистые, 5—песчаники, 6—конгломераты глинистые, 7—глины и аргиллиты; метаморфическая эффузивно-осадочная толща нижнего и среднего девона: 8—туфы кварцевых альбитофиров, 9—кварцитовидная порода, 10—кварцевые альбитофиры; 11—содержание метана в пробах керна и промывочной жидкости; 12—содержание водорода в пробах керна и промывочной жидкости; 13—место отбора пробы.

данные по керну

данные по промывочной жидкости

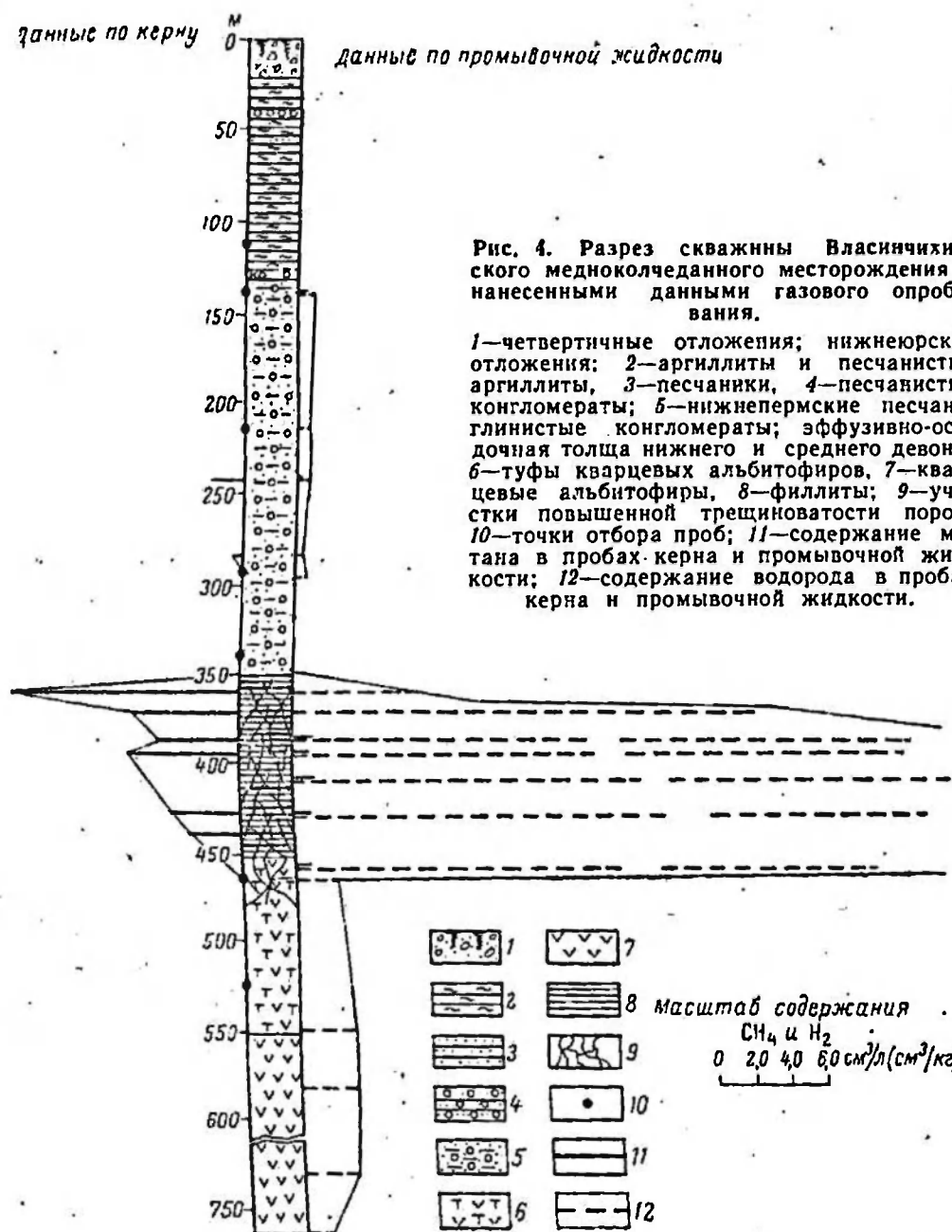


Рис. 4. Разрез скважины Власничихинского медноколчеданного месторождения с нанесенными данными газового опробования.

1—четвертичные отложения; нижнеюрские отложения; 2—аргиллиты и песчанистые аргиллиты, 3—песчаники, 4—песчанистые конгломераты; 5—нижнепермские песчано-глинистые конгломераты; эффузивно-осадочная толща нижнего и среднего девона: 6—туфы кварцевых альбитофиров, 7—кварцевые альбитофиры, 8—филлиты; 9—участки повышенной трещиноватости пород; 10—точки отбора проб; 11—содержание метана в пробах-керн и промывочной жидкости; 12—содержание водорода в пробах-керн и промывочной жидкости.

пую жидкость водорода, который в начальный момент газовыделения является преобладающим компонентом и содержание его достигает 80% (до $120 cm^3/l$). В значительных количествах иногда присутствует метан (до $21,1 cm^3$ в 1 л промывочной жидкости), часто наблюда-

ется повышенное содержание сероводорода (до 3%) и гелия (до 0,21%).

Выделение природных газов в скважины, бурившиеся на Урупских месторождениях, в отдельных случаях

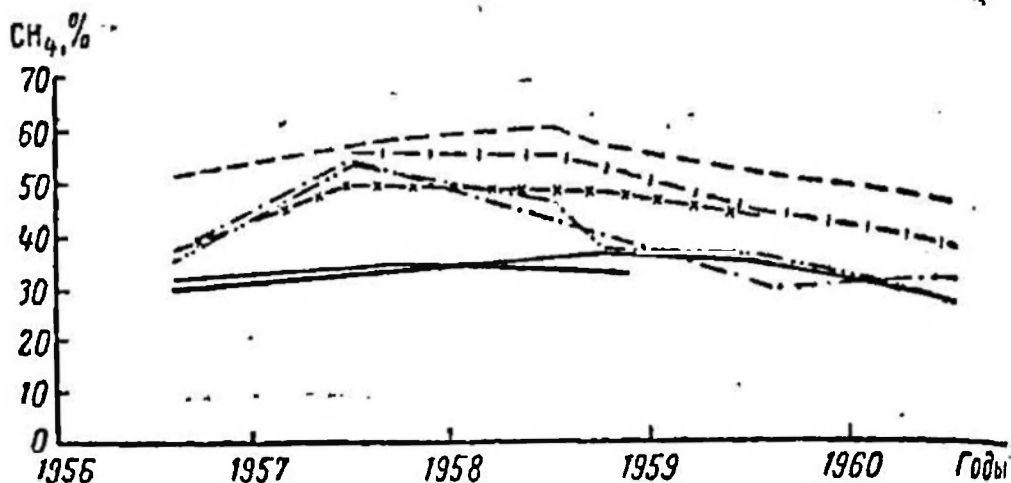


Рис. 5. Кривые изменения содержания метана в свободно выделяющихся газах отдельных скважин Урупского месторождения.

было настолько ингенсивным, что имели место выбросы газа и промывочной жидкости, а на одной из скважин от соприкосновения с открытым огнем возник пожар.

Значительный интерес представляют свободно выделяющиеся газы и газы, растворенные в напорных минерализованных водах. Все свободные газовыделения, связанные с породами среднего палеозоя, являются гелиеносными углеводородными и углеводородно-азотными. Содержание метана в свободно выделяющихся газах — медноколчеданных месторождений Урупского района — колеблется от 30,6 до 84,3%. Углекислый газ и сероводород присутствуют в незначительных количествах (до 3,7%), причем содержание последнего не превышало 0,7%. Весьма характерно для свободных газовыделений района наличие больших концентраций гелия (1,23—1,59%).

Основным газовым компонентом минерализованных вод является азот и лишь в отдельных пробах — углекислый газ. Содержание метана в растворенных газах колеблется в широких пределах, достигая 71,4% (21,1 см³/л).

Для газов, свободно выделяющихся и растворенных в минерализованных водах, характерно отсутствие водо-

рода, что свидетельствует о меньшем, по сравнению с метаном, содержании его в эффузивно-осадочной толще. Кроме того, водород, как наиболее легко диффундируемый, почти нерастворимый в подземных водах и очень плохо сорбируемый породами газовый компонент, выделяется в начальный момент газирования. Об этом свидетельствуют пробы свободного газа, отобранные в отдельных скважинах, где в начальный момент газирования был отмечен водород в количестве 0,5—1,26%.

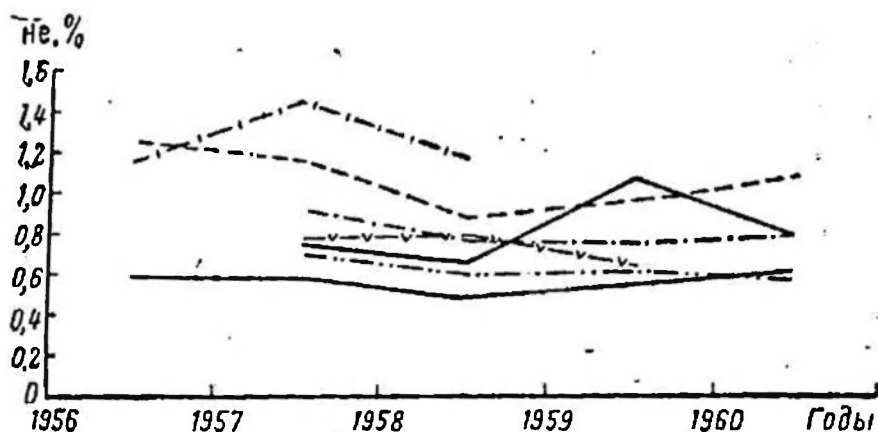


Рис. 6. Кривые изменения содержания гелия в свободно выделяющихся газах отдельных скважин Урупского месторождения.

Длительное газирование ряда разведочных скважин (6—7 лет и более), почти не изменившийся за это время состав газовой смеси (рис. 5, 6) и сравнительно крупные для рудных месторождений дебиты (до $170 \text{ м}^3/\text{сутки}$) позволяют заключить, что в среднепалеозойской толще медноколчеданных месторождений Урупского района содержатся значительные количества метана и гелия. С подобными скоплениями может быть связано появление в горных выработках долговременных и в ряде случаев интенсивных суфлярных выделений. Так, при интенсивном газовыделении суфлярного типа в одной из разведочных штолен максимальное содержание метана достигало в выделяющихся газах 62%, водорода — 26%. Через двое суток содержание водорода снизилось до 0, а значительная концентрация метана отмечалась в течение длительного времени (около года). От соприкосно-

вення с открытым огнем произошла сильная вспышка газов.

Источником метана и сероводорода, поступающих в рудничную атмосферу, служат также напорные минерализованные воды среднепалеозойских отложений.

Большое влияние на современное распределение природных газов Урупского района оказали газонепроницаемая покрывка осадочных пород и расчлененность рельефа, обусловившие различные газоносность и интенсивность газовыделений. Наименьшей газоносностью характеризуются породы Скалистого месторождения и северной части Власничихинского месторождения, где газонепроницаемая покрывка отсутствует, а рельеф сильно расчленен. Большое количество горючих газов отмечается в северной части Урупского месторождения и в поселке Первомайский, где газонепроницаемая покрывка была размыта позже, чем в северной части Власничихинского и Скалистого месторождений, а рельеф менее расчленен. Максимальная газоносность рудовмещающей толщи среднего палеозоя и высокая интенсивность газовыделений имеют место на юге Урупского и Власничихинского месторождений, где мощность газонепроницаемой покрывки осадочных пород достигает 500—600 м. Именно здесь имели место выбросы воды и газа. Наличие значительных (для рудных месторождений) скоплений горючих гелиеноносных газов в среднепалеозойской толще Урупского района обусловлено незначительной дегазацией, поскольку рельеф района в основном сформировался в поздненеогеновое (N_2 ар) и даже четвертичное время. С этого времени начался размыв осадочной покрывки и интенсивная дегазация среднепалеозойских отложений.

Существенные отличия отмечены в составе газов Худесского медноколчеданного месторождения, находящегося на северном склоне горы Эльбрус. В геологическом строении месторождения принимают участие зеленокаменные породы ранне- и среднедевонского возраста, состоящие из эффузивов от кислого до основного состава, порфирондов, метадиабазов и филлитов, общей мощностью до 680 м, эффузивно-осадочные породы раннекаменноугольного возраста — филлитовидные сланцы, плагиоклазовые диабазы, порфириты, альбитофиры, спилиты, их туфогенные образования, кремнистые и

яшмовидные сланцы. Общая мощность нижнего карбона 1500 м. К ним приурочены основные рудные залежи месторождения. Отложения нижней перми распространены на самом юго-западе месторождения и представлены толщей конгломератов, песчаников и глинистых сланцев. Вулканогенно-осадочные образования прорваны интрузиями гранит-порфиров, дайками диоритов, диорит-порфиров и спессартитов.

В тектоническом отношении месторождение расположено в мобильной зоне Передового хребта и приурочено к северному крылу крупной антиклинальной складки, разбитому многочисленными нарушениями на отдельные тектонические блоки. Амплитуда некоторых нарушений превышает 1—1,5 км.

Интрузивные, эффузивные, метаморфические породы и руды Худесского месторождения, так же как и породы медноколчеданных месторождений Урупского района, содержат незначительное количество горючих газов, которые почти целиком находятся в замкнутых порах и микротрещинках. Основное количество природных газов находится в свободном состоянии, а также растворены в минерализованных водах, которые, как и газы, локализуются вблизи разрывных нарушений и в приуроченных к ним трещиноватых зонах.

Основные компоненты природных газов Худесского месторождения — водород и углекислый газ (табл. 5). Количество метана не превышало 1%, а с течением времени его концентрация в свободных газовыделениях (струях) уменьшилась до нуля, сероводорода — не более десятых долей процента. В отличие от Урупских месторождений гелий здесь был встречен в весьма небольших концентрациях — до 0,003%.

Напорные воды Худесского месторождения относятся к гидрокарбонатно-натриевому, гидрокарбонатно-хлоридно-натриевому и гидрокарбонатно-сульфатно-натриевому типам. Последний встречается в основном в пределах рудных тел и характеризуется наличием большого количества железа. Минерализация подземных вод достигает 15 г/л. Основные газовые компоненты напорных вод — углекислый газ (до 99%), водород (до 30%) и в отдельных пробах — азот.

Почти полное отсутствие в составе свободно выделяющихся газов и напорных минерализованных вод угле-

Характеристика газопроявлений некоторых медноколчеданных

Месторождения	Структурное положение	Время окончания магматической деятельности	Геоморфологические условия	Степень дегазации
Худесское месторождение: Шт. 7, скв. 2 Шт. 7, скв. 27 Нарзанский источник, 1,5 км севернее месторождения	Центральная часть Передового хребта	Q ₃₊₄ (вблизи месторождения гора Эльбрус и р. Малка)	Резко расчлененный высокогорный рельеф. Начало эрозии — четвертичное время	В значительной степени дегазировано на выходах. Газоносность обусловлена интенсивным подтоком из магматических очагов
Скалистое и Власинчихинское месторождения, скв. 305 Урупское месторождение: Скв. 236 Скв. 237 Пос. Первомайский, скв. 188 Станица Преградная, скв. Б	Промежуточная зона между тектоническим комплексом Передового хребта и Северо-Кавказской моноклиной	D ₂ —C ₁	Сравнительно слабо расчлененный холмисто-увалистый рельеф. Начало эрозии — поздний апшерон — четвертичное время	Скалистое значительно дегазировано, Власинчихинское — в северной и восточной частях Слабо дегазированные
Бескесское месторождение	Северо-западная часть Передового хребта	D ₂ —C ₁	Резко расчлененный средневысотный рельеф эрозионных гор. Начало эрозии — акчагыльское время	Полностью дегазированное

Таблица 5

месторождений и участков центральной части Северного Кавказа

Химический состав свободно выделяющихся газов, %						Тип воды	Характер газовойделений
H ₂ S	CO ₂	CH ₄	H ₂	N ₂ + р. г.	He		
0,15— 0,20	1,0— 4,3	0,0— 0,5	80,55— 82,6	12,4— 15,45	0,003	Гидрокарбонатно-гидрокарбонатно-хлоридно-и гидрокарбонатно-сульфатно-натриевый. Минерализация до 15 г/л	Длительное и в достаточной степени интенсивное газирование
0,18 0,12	7,82 95,6	0,0 0,0	63,2 0,4	28,8 3,9	0,001 —		
0,06— 0,08	0,18— 2,0	29,1— 46,5	0,0	51,5— 70,7	0,623— 0,762	Гидрокарбонатно-хлоридно-натриевый. Минерализация 7—10 г/л	Слабые и часто кратковременные газовойделения
0,0— 0,12 0,0— 0,03 0,1— 0,15 0,1— 0,25	0,4— 1,3 0,0— 0,3 0,1— 0,5 3,0— 3,7	51,41— 61,0 56,4— 57,8 76,3— 84,3 43,0— 52,6	0,0 0,0 0,0 0,0	37,7— 48,1 42,2— 43,4 15,5— 23,3 43,7— 53,8	0,580— 0,777 до 0,768 1,23— 1,59 0,388— 0,416		
						Гидрокарбонатно-натриево-кальциевый. Минерализация 0,005—0,75 г/л	Свободных газовойделений нет. Ничтожное количество природных газов в породах пород

водородов (несмотря на наличие аналогичных месторождений Урупского района метаморфизованных осадочных пород, содержащих органическое вещество) указывает на значительную дегазацию Худесского месторождения, которая интенсивно протекала в конце мезогена и в четвертичное время благодаря резко расчлененному высокогорному рельефу. Несомненно, водород, как наиболее подвижный, плохо растворимый в подземных водах и практически не сорбируемый породами газ, должен был выделиться в первую очередь. В действительности он является основным газовым компонентом. Высокое содержание водорода в свободных газовойделяниях (газовых струях) и сравнительно небольшие изменения его концентрации¹ явление редкое.

В связи с изложенным представляет интерес происхождение горючих газов изученных медноколчеданных месторождений Северного Кавказа.

Основное количество метана на медноколчеданных месторождениях Урупского района образовалось в результате регионального метаморфизма органического вещества осадочных пород среднего палеозоя. Меньшее значение в образовании углеводородных газов имели процессы динамического и термального метаморфизма. Нижнеюрские и тем более нижнепермские отложения, лишенные локальных скоплений органического вещества, не содержат значительных количеств горючих газов и, следовательно, не оказывают существенного влияния на газоносность рудных тел и вмещающих их вулканогенных пород.

Источником метана служит углистое вещество филлитовидных сланцев нижнего и среднего девона и, возможно, более древних метаморфизованных осадочных пород. Среднее содержание органического углерода в филлитовидных сланцах составляет 0,95%; что не уступает содержанию органического углерода в осадочных породах угленосных отложений Донецкого бассейна и Волго-Уральской нефтеносной области (Ронов, 1959).

Метан, выделяющийся при изменении органического вещества филлитовидных сланцев и в больших количествах скопившийся в трещинах и пустотах эффузивных и

¹ За 1—1,5 года концентрация водорода в свободно выделяющихся газах ряда скважин уменьшилась на 2,5—5%. Газирование скважин продолжалось в течение 3—4 лет.

туфогенных пород, вмещающих рудное тело, в основном обусловил всю газоносность месторождений Урупского района.

Аналогичные условия образования метана имели место на Бескесском, Худесском и некоторых других месторождениях. Однако вследствие весьма интенсивной дегазации метан из них почти полностью мигрировал в атмосферу. Метан, находящийся в замкнутых порах и микротрещинах изверженных пород и медноколчеданных руд, сингенетичен самим породам и образовался в результате магматических реакций при взаимодействии паров воды с окисью или двуокисью углерода.

Тяжелые углеводороды, содержащиеся в природных газах медноколчеданных месторождений в небольшом количестве, представлены в основном этаном и образовались в результате метаморфизма органического вещества измененных осадочных пород. На образование тяжелых углеводородных газов среднепалеозойской вулканогенно-осадочной толщи большое влияние оказал термальный метаморфизм углистого вещества филлитовидных сланцев, интенсивно проявившийся на контакте с эффузивными и интрузивными телами.

Тяжелые углеводороды, находящиеся в изверженных породах, имеют магматическое происхождение.

Преобладающие количества водорода месторождений Урупского района генетически связаны с метаморфизованными породами среднего палеозоя. Водород здесь образовался в результате термального воздействия эффузий и (в особенности) интрузивных тел на органическое вещество филлитовидных сланцев нижнего и среднего девона и, возможно, более древних осадочных образований. Вследствие плохой сорбируемости породами и большой подвижности молекул он не остался в значительных количествах вблизи мест генерации, а мигрировал по системам трещин во вмещающие рудные тела породы.

Водород, находящийся в замкнутых порах, пустотах и микротрещинах изверженных пород и руд, имеет магматическое происхождение и так же, как метан, сингенетичен им. Его происхождение связано с экзотермической реакцией, происходящей при воздействии водяных паров на силикаты и окислы ряда металлов, в частности железа. Однако водород магматического происхождения в пределах месторождений Урупского района не мог об-

разовать столь значительных скоплений, которые наблюдаются в настоящее время, поскольку район этот расположен в стабильной зоне Северного Кавказа, где магматическая деятельность окончилась еще в досреднекарибонное время и, следовательно, нет оснований ожидать, что водород будет мигрировать в настоящее время из магматических очагов к поверхности в больших количествах.

Иные условия образования водорода отмечаются на Худесском медноколчеданном месторождении, приуроченном к мобильной зоне Кавказа, где эруптивная деятельность вулкана Эльбрус имела место в позднем плейстоцене — голоцене (андезитовые, дацитовые, липаритовые лавы и туфы Эльбруса и р. Малка) (Масуреников, Пантелеев, 1962), а термальные проявления наблюдаются до настоящего времени. По-видимому, преобладающее количество водорода месторождения мигрировало сюда по крупным нарушениям из неглубоко расположенных магматических очагов и накапливалось в трещиноватых зонах.

Недавно В. П. Щербак (1965) было высказано предположение, что водород Худесского месторождения является результатом гипергенных процессов, происходящих в рудных телах, и может иметь электрохимическое происхождение. Это мнение не подтверждается результатами детального геолого-геохимического изучения газопоявлений с водородом в ряде рудных месторождений Советского Союза. В частности, водород (до 87,4%) был обнаружен в эльджуртинских ($Сг_2$ — Pg) гранитах в районе Тырны-Аузского вольфрамо-молибденового месторождения на большом расстоянии от рудных тел (Гуревич, Кац, 1960). Высокое содержание водорода отмечено на ряде месторождений, где подземные воды не кислые, а щелочные, и легко разлагающиеся сульфиды присутствуют в небольших количествах или вообще отсутствуют (Балейские золоторудные, ртутные месторождения Краснодарского края, Хибинские апатито-нефелиновые месторождения и т. д.). Однако во всех этих случаях основное количество водорода имело прямую связь с магматической или гидротермальной деятельностью. Везде скопления природных газов с водородом отмечались ниже зоны свободного водо- и газообмена с атмосферой.

Происхождение преобладающих количеств углекислого газа Худесского месторождения также связано с молодой вулканической деятельностью и характеризует собой заключительную фазу эруптивной деятельности вулкана Эльбрус.

Ртутные месторождения

В процессе проведения поисково-разведочных работ на ряде ртутных месторождений и рудопроявлений были отмечены газовыделения, указывающие на наличие в рудных телах и вмещающих их породах значительных количеств метана и углекислого газа.

Ртутные месторождения расположены в горной части Северо-Западного Кавказа и приурочены к северному и южному склонам Главного Кавказского хребта. Они находятся в области развития осадочных пород нижнего мела, который в основном представлен глинистыми отложениями с подчиненными им прослоями песчаников, конгломератов и гравелитов, общей мощностью до 3000 м (Нетреба и Платонов, 1961). Эти ртутные месторождения входят в состав Западной подзоны Кубанской ртутно-сурьмяной подпровинции, характеризующейся единством стратиграфо-литологического положения ртутной минерализации. Она охватывает всю горную часть Северо-Западного Кавказа, резко понижающуюся по направлению к Таманскому полуострову.

Описываемые месторождения расположены в пределах северо-западного погружения Кавказского мегантиклинория, расчлененного разломами на ряд параллельных тектонических зон общекавказского простирания. В центральной части района проходит региональный Безепский разлом, который является отражением в осадочном чехле глубинного раскола фундамента. Кроме Безепского разлома, здесь отмечается ряд крупных рудоконтролирующих разломов с большой амплитудой смещения и признаками гидротермальной деятельности. Месторождения и рудопроявления расположены в антиклинальных структурах, примыкающих к зонам региональных разломов. Сводовые части антиклинальных структур обычно разбиты сериями продольных разрывов, которые служат рудоподводящими каналами на участках пересечения горизонтов компетентных и высоко-

пористых пород, перемежающихся с пачками пластичных глин.

Ртутно-сурьмяное оруденение приурочено к телам сложного, преимущественно терригенного состава и к комплексу рудных и жильных минералов принадлежащих к кварц-диккитовой формации, образованной низкотемпературными (90—150° С) гидротермальными растворами. В образовании месторождений такого типа решающую роль играет выполнение полостей и пустот при подчиненном значении метасоматоза. В связи с этим важное значение приобретают коллекторские свойства пород: первичная и вторичная пористость, трещиноватость, взаимоотношения с экраняющими пластичными породами (глинами). Основным рудным минералом является киноварь, в ряде случаев присутствует антимонит. Киноварь локализуется в основном в зоне брекчий, в кварц-диккитовом цементе и в прожилках диккита. Во вмещающих породах она образует вкрапления или заполняет трещинки. Изредка в рудах встречаются твердые битумы — от антраксолита до асфальтита.

Возраст ртутного оруденения всей Кубанской провинции укладывается в довольно узкие пределы — поздний мел (сантон) — эоцен (данные А. В. Нетреба, 1965 г.).

В нижнемеловых отложениях выделяются следующие типы вод: пластово-трещинные в песчаниках и конгломератах и жильно-трещинные в зонах дробления и повышенной трещиноватости пород. Последние в большинстве случаев напорные и переносят в растворенном состоянии значительные количества природных газов (до 500 см³ в литре). Они имеют минерализацию до 60 г/л и относятся к гидрокарбонатному, гидрокарбонатно-хлоридному и хлоридно-натриевому типам.

В газах исследованных месторождений и рудопроявлений присутствуют сероводород, углекислый газ, металлы с примесью тяжелых углеводородов, водород, азот и редкие газы. Преобладающими компонентами являются углекислый газ и метан, т. е. по составу природные газы могут быть отнесены к углекисло-углеводородным.

Максимальным содержанием углеводородных газов (в основном метана) характеризуются глины, которые обогащены органическим веществом (до 53%, или 45 см³/кг), минимальным — грубообломочные породы:

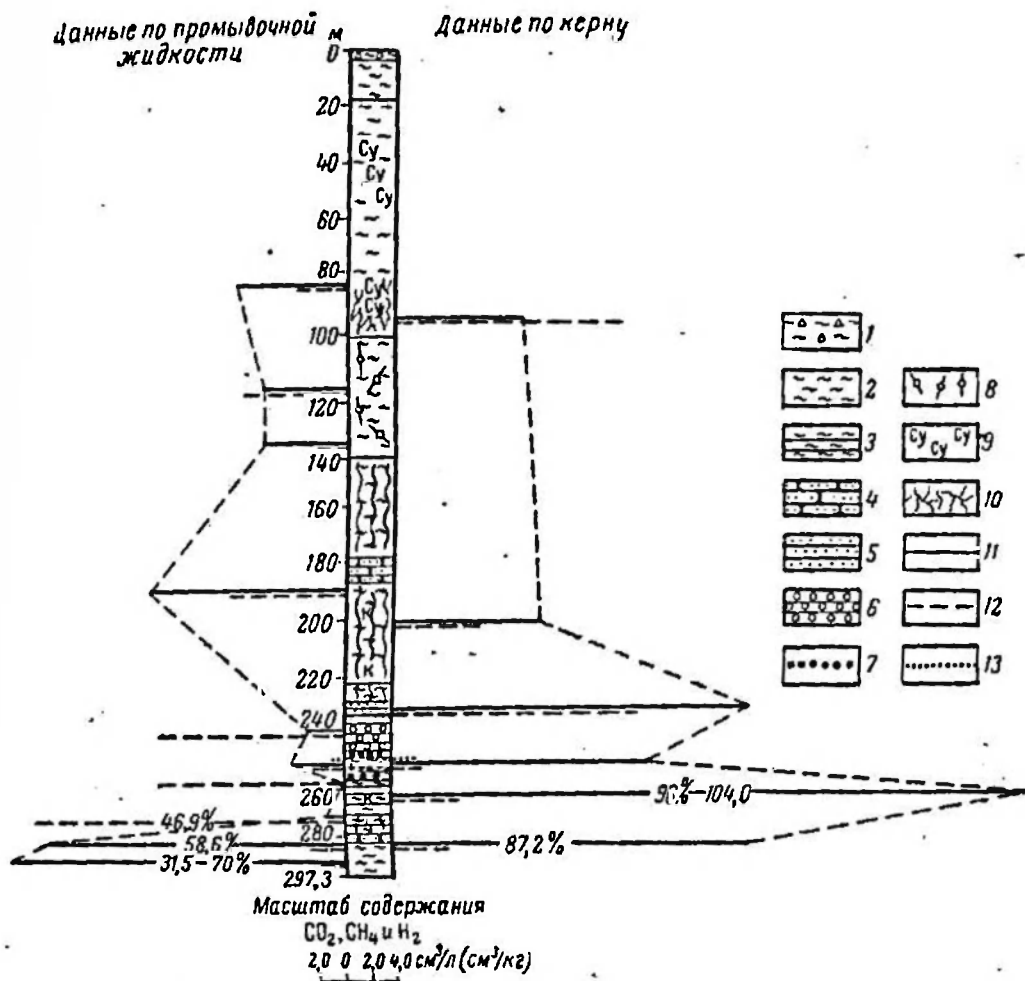


Рис. 7. Разрез Белокаменного месторождения ртути скважины с нанесенными данными газового опробования.

1—аллювиально-делювиальные отложения; 2—глины неслоистые и неяснослоистые; 3—глины слоистые; 4—песчаники; 5—гравелиты; 6—конгломераты; 7—вкрапленность киновари; 8—кальцитизация; 9—обуглившиеся растительные остатки; 10—трещиноватость; 11—содержание углекислого газа в пробах керна и промывочной жидкости; 12—содержание метана в пробах керна и промывочной жидкости; 13—содержание водорода в пробах керна и промывочной жидкости; К—диккитизация.

конгломераты и гравелиты, а также известняки. Количество метана здесь достигало 5—15%, или 3—5 см³/кг. Небольшим газосодержанием в целом обладают также песчаники. Исключение составляют разности, содержащие прослойки и линзочки углистого вещества, где количество углеводородных газов достигало 75—76% (300—310 см³ на 1 кг породы). Несколько повышенная концентрация углеводородных газов отмечается и в отдельных пористых песчаниках.

Содержание углекислого газа в породах почти такое же, как углеводородных газов, а в ряде случаев больше. В частности, он преобладает над углеводородными газами в грубообломочных породах. Весьма характерно для ртутных месторождений увеличение концентрации углекислого газа в трещиноватых породах, расположенных в зонах разломов (сорбция углекислого газа, мигрирующего по нарушениям, веществом породы)¹ (рис. 7).

Водород в составе природных газов отмечается преимущественно в рудных телах и вмещающих его гидротермально измененных породах, где он сохранился в основном в замкнутых порах и микротрещинках в количестве до 144,0 см³ на 1 кг породы.

Основная масса нижнемеловых пород ртутных месторождений характеризуется небольшой открытой и ничтожной эффективной пористостью, за исключением отдельных разностей конгломератов и песчаников, где эффективная пористость достигает 12—15%. Газопроницаемость почти всех пород района также весьма невелика — менее 1 мд, поэтому основными путями перемещения природных газов и подземных вод служат трещины. Трещиноватые зоны являются также хорошими коллекторами. В связи с этим преобладающее количество природных газов находится в зонах повышенной трещиноватости пород в свободном состоянии, а также растворено в подземных минерализованных водах.

Основным газовым компонентом свободных газовойделений (газовых струй) на месторождениях является метан, содержание которого колебалось от 50,5 до 98,4%. Тяжелые газообразные гомологи метана составляют примесь в углеводородных газах — до 0,42639%. Они представлены этаном — до 0,41720%, пропаном — до 0,14400%, изобутаном — до 0,018800%, бутаном — до 0,00668%, изопентаном — до 0,008%, пентаном — 0,00120%, гексаном и более тяжелой фракцией — до 0,00020%. Углекислого газа содержится меньше, чем метана — от 0,41 до 33,6%. Водород был обнаружен всего в нескольких пробах, отобранных в начальный момент газирования, в количестве до 1—2% и лишь в одной пробе — 16,3% (скважиной были перебурены раздроб-

¹ Повышенные концентрации углекислого газа вблизи поверхности обусловлены окислением органического вещества атмосферным кислородом.

ленные и гидротермально измененные породы рудного тела).

Длительное газирование ряда скважин и мало изменившийся состав выделяющихся газов свидетельствуют о том, что по зонам разломов и связанным с ними участкам повышенной трещиноватости пород в настоящее время происходит довольно интенсивное перемещение природных газов. Это говорит также о сравнительно значительном содержании в таких зонах (для рудных месторождений) углекислого газа и метана.

Иной состав имеют природные газы, растворенные в жильно-трещинных минерализованных водах ртутных месторождений. Основной газовой компонент этих вод — углекислый газ, концентрация которого в ряде проб превышала 90%, или 450—500 см³ в литре. Содержание метана в минерализованных водах гораздо ниже и обычно не более 3—5%, или 5—10 см³ в литре, тяжелых углеводородных газов — до 0,00860%.

Повышенное содержание углекислого газа в подземных минерализованных водах по сравнению со свободными газовыделениями объясняется тем, что он значительно больше растворим, чем метан¹. Вследствие этого природные газы, мигрирующие по трещинам вместе с подземными водами, обедняются углекислым газом и обогащаются метаном и другими труднорастворимыми компонентами, в частности гелнем.

Характерным для газов свободных выделений и растворенных в напорных минерализованных водах является отсутствие (в подавляющем большинстве проб) водорода. Это свидетельствует о том, что в нижнемеловых и, возможно, подстилающих их юрских породах водорода мало и гораздо меньше, чем метана. Кроме того, водород вследствие своей большой подвижности выделяется при газировании первым, поэтому основное количество его могло сохраниться в трещинах, не имеющих связи с поверхностью, и в замкнутых порах и микротрещинах пород, в особенности, если последние расположены непосредственно в рудных телах или на контакте с ними.

На ряде ртутных месторождений и рудопроявлений были обнаружены твердые битумы, детально изученные

¹ Растворимость углекислого газа примерно в 27 раз превышает растворимость метана (см. табл. 1).

В. С. Балицким (1966). Тесная ассоциация битумов с ртутным и ртутно-сурьмяным оруденением имеет место в Донбассе, Средней Азии, Карпатах, США (Калифорния), Италии, Югославии и многих других районах мира (Бескровный, 1967, Кудрявцев, 1959, Поярков, 1955 г., Lindgren, 1933 г. и др.).

Твердые битумы в форме линзовидных и ветвящихся прожилков, линзочек, гнезд и отдельных вкраплений в ртутных месторождениях Северо-Западного Кавказа содержатся как в гидротермально измененных породах, так и непосредственно в рудных телах. Вмещающие породы на контакте обогащены битумами (3—4%). Часть битумов древнее рудной минерализации, часть — моложе. Участки, обогащенные битумами, характеризуются наиболее высокой концентрацией сульфидов. В самих битумах, расположенных вблизи рудных прожилков, отмечается мелкая вкрапленность самородной ртути, образование которой связано с восстанавливающим действием битумов. Восстанавливать ион ртути в кинновари могут и углеводородные газы: $2\text{HgS} + \text{CH}_4 = 2\text{Hg} + 2\text{H}_2\text{S} + \text{C}$.

Изученные разновидности битумов В. С. Балицкий относит к антраколиту низшей степени метаморфизма — дорудные твердые битумы, образовавшиеся после диккитизации и окварцевания пород, но до выпадения рудных минералов (в вес. %: С — 89; Н — 3,22; О — нет; N — 3,10; S — 2,85; зола — 1,83), и граэмиту — пострудные битумы (в вес. %: С — 79,24; Н — 6,9; О — 1,46; N — 5,06; S — нет; зола — 1,02). Кроме макроскопических выделений битумов, в рудах и рудообразующих минералах присутствует рассеянное битуминозное вещество. Содержание битумов в минералах составляет обычно 0,00012—0,003%, иногда — до 0,01% (Балицкий, 1966).

Битуминозное вещество оказалось в рудных телах и гидротермальных минералах, по-видимому, в результате выноса его гидротермальными растворами из вмещающих пород и дальнейшего переотложения. В частности, в измененных породах содержание рассеянного битуминозного вещества в несколько раз меньше, чем в их неизмененных разностях. Большую роль в выносе битуминозного вещества из пород и его переотложении играет углекислота, которая при низких температурах растворов (менее 300—250°C) взаимодействует с водой, обра-

зую ионы HCO^{1-}_3 и CO^{1-}_2 . Ион HCO^{1-}_3 при низких температурах в слабощелочной среде является неустойчивым и разлагается с образованием CO_2 , что является одной из причин осаждения карбонатов. Одновременно с этим растворенные в углекислых растворах битумы освобождаются, конденсируются и осаждаются вместе с кальцитом или другими карбонатными минералами. Этим и объясняется частое нахождение битумов в гидротермальных карбонатах.

Значительный геохимический интерес представляет происхождение природных газов ртутных месторождений.

Основное количество углеводородных газов (главным образом, метана) образовалось в результате биохимического превращения исходного органического вещества. Ничтожная проницаемость нижнемеловых отложений, представленных большей частью глинистыми породами, препятствовала уходу больших количеств биохимического метана и способствовала его накоплению. По мере погружения осадков на глубину более 1—2 км основную роль в образовании метана, по-видимому, играли термokatалитические и гидрогенизационные процессы, т. е. происходило обуглероживание органического вещества и выделение углеводородных газов.

Нижнемеловые породы регионально содержат значительные количества растительного детритуса в виде обуглившихся растительных остатков, реже обломков древесины с сохранившейся структурой растительных тканей, отпечатков листьев и т. д., а также незначительных прослоек и липз блестящего угля. В глинах углестое вещество находится в основном в тонкодисперсном состоянии. Кроме того, в породах содержится битуминозное вещество — до 0,05 вес. %.

Таким образом, метан образовывался на всех стадиях изменения исходного органического вещества, находящегося в нижнемеловых породах.

Некоторое количество метана поступает из юрских отложений, содержащих залежи нефти и газа. Это обусловлено плохими коллекторскими свойствами нижнемеловых пород, которые в подавляющем большинстве случаев не могут выделять значительные количества метана в зоны повышенной трещиноватости пород, связанные с разрывными нарушениями. Следовательно,

углеводородные газы свободных выделений и трещинных минерализованных вод изученных ртутных месторождений в значительной степени генетически связаны с низележащими отложениями.

Тяжелые гомологи метана, составляющие примесь в углеводородных газах, в основном имеют такое же происхождение, как и метан. Небольшие количества тяжелых углеводородных газов могли образоваться в результате термального воздействия гидротермальных растворов на органическое вещество.

Водород, как уже было отмечено выше, имеет довольно ограниченное распространение в ртутных месторождениях и встречается почти исключительно в породах, расположенных в зонах разломов и подвергшихся воздействию гидротермальных растворов. Такая приуроченность водорода, а также его прямая связь с участками, обогащенными кинноварью, указывает, что решающее значение в образовании его имела гидротермальная деятельность, с которой связано оруденение. В частности, значительные количества водорода могли быть привнесены в рудовмещающие породы гидротермальными растворами. Такой водород имеет глубинное происхождение и мог образоваться в результате воздействия паров воды на силикаты и окислы ряда металлов (например, железа). Разложение воды при наличии металлов или их соединений может происходить уже при температурах 150—200°C, что соответствует температуре рудоносных растворов.

Следует учесть, что водород мог возникнуть на значительных глубинах в области более высоких температур и затем вместе с гидротермальными растворами переноситься на значительные расстояния. Не исключено также, что он генерировался в гидротермальных рудоносных растворах благодаря взаимодействию паров воды с различными соединениями ртути, чем и объясняется их парагенезис.

Некоторая часть водорода также образовалась в результате температурного воздействия гидротермальных растворов на органическое вещество пород. Однако вследствие сравнительно низких температур обуглероживание органического вещества и выделение газообразного водорода происходило в небольших масштабах.

Таким образом, основное количество водорода ртут-

ных месторождений Северо-Западного Кавказа, по-видимому, генетически связано с ртутносными растворами, а углекислого газа — с гидротермальной деятельностью, проявлявшейся на заключительном этапе формирования складчатых структур Кавказского мегантиклинория (послепоздне меловое — предолигоценное время), к которому приурочено ртутное оруденение (Нетреба, 1965 г.).

Образование окварцованных пород, содержащих каолинит и днкит, в условиях нейтральной и слабощелочной среды при сравнительно низких температурах свидетельствует о слабокислом характере гидротермальных растворов, а небольшие количества сульфидов (за исключением киновари) — о преобладании анионов угольной кислоты. Из этих растворов в рудную стадию отлагалась киноварь. Таким образом, углекислый газ играл важную роль в гидротермальных растворах и формировании ртутных месторождений. В настоящее время происходит довольно интенсивное перемещение больших количеств углекислого газа от генерирующих очагов по крупным разломам, по-видимому, являющимся отраженным расколам фундамента в осадочном чехле.

Изучение изотопного состава углерода; определенного для углеводородных и почти чистых углекислых газов, показало, что в углекислом газе содержится значительно больше тяжелых изотопов углерода (C^{13}), чем в метане. Так, изотопное отношение углерода в углекислом газе (δC^{13}) колебалось от +0,6 до -1,51%, а в метане — от -3,04 до -4,31%¹. Наличие больших количеств изотопа C^{13} в углекислом газе газовых струй и подземных минерализованных вод может указывать на его отличное от метана происхождение.

О высоком содержании углекислого газа в гидротермальных рудоносных растворах свидетельствует также состав газовой фазы газовой-жидких включений с температурой гомогенизации 90—200°C, где были обнаружены водород (до 19%) и углекислый газ (13%).

Углекислый газ, содержащийся в породах, залегающих вблизи поверхности и, следовательно, расположенных в зоне свободного водо- и газообмена, образовался в основном в результате окисления органического веще-

¹ По отношению к международному Чикагскому стандарту—РДВ.

ства кислородом воздуха. Вследствие плохой газопроницаемости глинистых пород окисление органического вещества происходит на небольшую глубину — порядка 20—30 м. Углекислый газ, содержащийся в небольших количествах в неизмененных породах, возник в результате изменения исходного органического вещества. Он образует своеобразный фон, характерный для данного региона.

ХИБИНСКИЕ АПАТИТО-НЕФЕЛИНОВЫЕ И ДРУГИЕ РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Исследованию горючих газов и битумов Хибинского, Ловозерского и других интрузивных массивов Кольского полуострова посвящено довольно много работ (Кравцов, 1961; Линде, 1961; Петерсилье, 1963, 1964 и др.), поэтому мы приводим лишь материалы, освещающие основные закономерности распределения, изменения состава и происхождения горючих газов и битумов указанных месторождений.

Кольский полуостров приурочен к обширной области распространения кристаллических пород, слагающих Балтийский щит. В геологическом строении полуострова принимают участие архейский, протерозойский, палеозойский и кайнозойский комплексы пород.

Архейские образования характеризуются широким распространением и занимают не менее 70% территории. Глубокометаморфизованные породы, относящиеся к нижнему архею, представлены различными по составу и происхождению гнейсами и сланцами, гнейсо-гранитами, гранитоидами, диоритами, амфиболитами и габбро-амфиболитами. К ним приурочены интрузивные тела габбро-амфиболитов и олигоклазовых гнейсо-гранитов и комплексы несколько более молодых основных пород — габбро-норитов и перидотитов. Верхнеархейские образования выделяются условно. К ним относятся железорудные кварциты и различные сланцы, а также интрузивные породы: микроклиновые граниты и олигоклазовые гнейсограниты.

Протерозойские образования залегают в виде двух узких зон северо-западного простирания и представлены осадочными, вулканическими и интрузивными породами,

и последние — ультраосновными, основными и в меньшей степени щелочными породами и гранитами.

К нижнему палеозою относятся интрузивные массивы Африканд, Ковдорский и др., к среднему палеозою — щелочные породы Хибинского и Мончегорского массивов. Верхнедевонскими считаются ксенолиты покрова Ловозерского массива, представленные эффузивными породами и туфами, а также метаморфизованными осадочными породами.

На Кольском полуострове известны проявления каледонской складчатости и связанной с ней магматической деятельности, а также герцинских платформенных движений, которые обусловили внедрение основных и щелочных магм, образовавших массивы основных, ультраосновных и щелочных пород.

Хибинский массив щелочных пород представляет собой сложную многофазную интрузию центрального типа значительных размеров. Абсолютный возраст массива, установленный свинцовым методом Л. В. Комлевым, А. Д. Михалевской и С. И. Даниелевич (1961), составляет 290 ± 10 млн. лет, т. е. образование массива, по их данным, относится к одной из ранних фаз герцинского тектогенеза (поздний девон — ранний карбон). В настоящее время общепринятой является точка зрения Н. А. Елисева (1939), что Хибинский массив — это платформенная интрузия типа субвулканов, имеющая концентрическое строение.

В Хибинском массиве выделяются (Зак, 1963), следующие комплексы пород (начиная от более древних):

- 1) нефелиновые сиениты и сиенит-порфиры;
- 2) гранитоидные хибиниты, представляющие собой крупнозернистые нефелиновые сиениты;
- 3) трахитоидные хибиниты, имеющие аналогичный состав и отличающиеся от гранитоидных хибинитов лишь структурными особенностями;
- 4) неравномернозернистые нефелиновые сиениты (рисчорриты);
- 5) комплекс ийолит-уртитов, включающий несколько разновидностей пород (малиньиты, луявриты и т. д.), различающихся по содержанию в них нефелина и щелочных пироксенов, и апатито-нефелиновые тела;
- 6) среднезернистые эгириновые нефелиновые сиениты, слагающие серповидную интрузию в центральной части массива;
- 7) фойяиты (центральная часть массива), представляющие собой крупнозернистые породы, близкие

по составу к хибинитам; 8) позднемагматические образования — различные жильные породы (луявриты, мончикиты и т. д.), выполняющие тектонические трещины и разломы.

Хибинский массив разбит серией радиальных разломов, обусловивших его грабеновое строение (Онохин, 1968 г.). С севера и юго-востока его полукольцом опоясывают гнейсы, олигоклазовые граниты и амфиболиты, относимые к архею. С юго-запада он окружен толщей зеленокаменных и туфогенных осадочных пород свиты имандра — варзуга (протерозой), к которой приурочено несколько линз графитизированных сланцев мощностью 100—200 м. В этих линзах графит встречается в виде мелких чешуек неправильной формы. Все породы весьма интенсивно метаморфизованы, местами окварцованы, а на контакте с массивом превратились в роговики. Свита имандра — варзуга прорвана интрузиями метагаббро-диабазов, метадиабазов, серпентинитов и т. д.

Состав и содержание природных газов свиты имандра — варзуга довольно разнообразны. Наибольшее количество газов было отмечено в эффузивных породах (в см^3 на 1 кг породы): водорода — 4,6, метана — 1,06, углекислого газа — 0,04. Среди метаморфизованных осадочных пород минимальным газосодержанием характеризуются известняки и доломиты, в которых количество водорода обычно не превышает десятые доли см^3 на 1 кг породы, а углеводородные газы в большинстве случаев отсутствуют. Небольшое количество горючих газов содержится в графитизированных сланцах: водорода — до 4,6 см^3 на 1 кг, метана — редко более 1,0 см^3 на 1 кг породы; в ряде проб углеводородные газы вообще отсутствовали.

Впервые наличие горючих газов в Хибинских месторождениях было установлено в декабре 1951 г. в подстилающих рудное тело ийолит-уртитах при проходке передовой штольни Юкспорского тоннеля. Интенсивность выделения газов в рудничную атмосферу была настолько велика, что произошла вспышка. Газы имели следующий состав (данные Б. М. Мелентьева): метан — 81,4%, водород — 13,9%, азот — 4,3%. Исследования, проведенные М. Г. Гуревичем, показали, что в выделяющихся газах содержалось до 1,9794% тяжелых углеводородов,

в том числе этана — до 1,4914%, пропана — до 1,2906%, бутана — 0,0359% и высших гомологов — 0,6053%.

Значительное скопление горючих газов было зафиксировано также на Ньюорк-пахкском месторождении, где при бурении в трахитонидных ийолитах в одной из скважин с глубины 258,5 м произошел выброс газа (Петерсилье, 1962 г.), содержавшего 57,76% углеводородных газов, в том числе 1,61% тяжелых гомологов метана и 0,28% водорода. Менее интенсивные газовыделения были отмечены в горных выработках месторождений Расвумчорр и Кукисвумчорр.

На месторождении Расвумчорр свободные газовыделения суфлярного типа были встречены в откаточном тоннеле, который пройден в подстилающих рудное тело породах ийолит-уртитового комплекса (рис. 8). Они носили площадной характер. На участке тоннеля, находящемся в 3705—3725 м от устья, точечные грифоны были расположены линейно на площади около 100 м² и приурочены к крутопадающим трещинам, азимут простирания которых 110—120°, а угол падения 80—90°. Дебит отдельных грифонов 0,1—0,2 л/мин. Газовыделения в основном углеводородные и углеводородно-водородные со значительным количеством тяжелых газообразных гомологов метана.

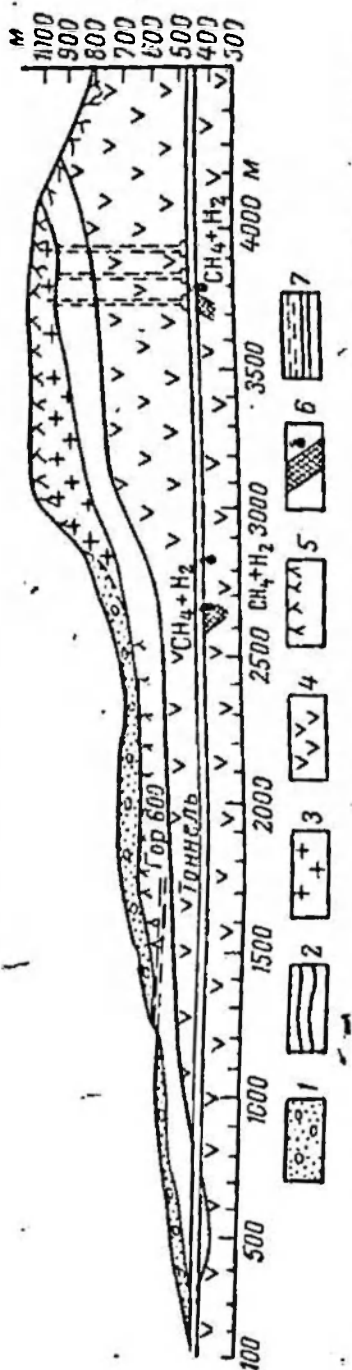


Рис. 8. Продольный разрез по Расвумчоррскому железнодорожному тоннелю с нанесением участков свободных газовыделений в горные выработки.
 1—четвертичные сложенные; 2—апатит-нефелиновая залежь; 3—рисчорриты; 4—уртиты; 5—трещины швабравания; 6—участки свободных газовыделений в горных выработках; 7—подземные горные выработки.

Содержание горючих компонентов в выделяющихся газах составляло (в %): в 2620 м от устья тоннеля — метана и тяжелых углеводородных газов — до 94,6, водорода 2,5—4,6; в 2850 м от устья тоннеля — метана с

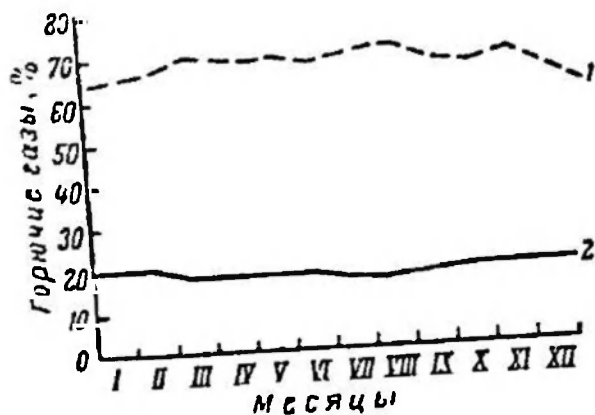


Рис. 9. Изменение концентрации горючих газов при свободном газовыделении в Расвумчорском железнодорожном тоннеле за 1962 г.
1—углеводородные газы; 2—водород.

тяжелыми углеводородными газами — 29,7, водорода — 1,3; в 3710—3728 м от устья тоннеля — метана с тяжелыми газообразными гомологами 55,6—74,5, водорода 15,8—24. Концентрация тяжелых углеводородных газов достигала 19,0%. Тяжелая фракция представлена этаном (до 18,2%), пропаном (до 3,6%), бутаном (до 0,915%); в отдельных пробах были отмечены незначительные количества изобутана (0,001—0,01%), пентан и гексан. Такое большое количество горючих компонентов, в особенности тяжелых углеводородных соединений, не характерно для месторождений эндогенного генезиса, расположенных вдали от осадочных пород, содержащих органическое вещество. Окиси углерода ни в одной из отобранных проб не

Таблица 6

Химический состав газа, свободно выделяющегося из шпура в Расвумчорском откаточном тоннеле

Год наблюдения	Содержание, %				
	CO ₂	O ₂	CH ₄ + Т. У.	H ₂	N ₂ + р. г.
1961	1,0	1,0	84,7	3,0	10,3
1962	0,6	0,8	83,4	3,8	11,4
1963	0,2	1,4	81,3	3,8	13,3
1964	0,0	1,0	86,4	2,8	9,8
1965	0,2	0,8	86,2	3,2	9,6

было обнаружено. Содержание углекислого газа было незначительным и не превышало 1,0%. В свободных газовыделениях отмечены и большие количества гелия, в отдельных случаях превышающие 1,0%. В ряде случаев было отмечено также повышенное содержание аргона — до 6% (Кравцов, Войтов, Фридман и др., 1967).

Длительные наблюдения, проводившиеся в течение нескольких лет в Расвумчоррском тоннеле, показали, что существенных изменений в дебитах и составе свободно выделяющихся газов не произошло (рис. 9, табл. 6).

Интенсивность выделения горючих газов из шпуров достигала 0,5—0,7 м³/сутки, что указывает на довольно быстрый подток его по трещинам. Выделение газа происходило под избыточным давлением, достигающим 160 мм вод. ст. Несомненно, давление в газовых скоплениях гораздо больше замеренного и, судя по глубине газирования скв. 261 Ньюоркпахкского месторождения, может достигать 20—30 ат.

Установлено, что восстановление равновесного давления в шпурах происходит быстро — в течение 1—3 мин, что также свидетельствует об интенсивном перемещении газов по трещинам от газового скопления к области разгрузки вследствие значительных перепадов давления.

В пределах южной части месторождения Кукисвумчорр, вскрытой горными выработками рудника им. С. М. Кирова, значительных газовыделений не было отмечено. Однако при бурении одной из скважин с горизонта +322 м вниз на глубине 53 м в крупноблоковой апатито-нефелиновой руде произошел выброс воды и газа. Газирование продолжалось около 5 суток. Выделявшийся газ состоял из углеводородов (79,7—84,5%) и водорода (8,3—10,8%)¹. Пробы воды, отобранные по этой скважине, также содержали горючие газы. В ряде случаев на месторождениях Юкспор и горы Расвумчорр одновременно с горючими газами в породах ийолит-уртитового комплекса присутствовал аммиак, содержание которого достигало 0,05%.

¹ Содержание горючих компонентов дано после пересчета на безвоздушный газ.

Скопления горючих газов в Хибинских апатито-нефелиновых месторождениях приурочены к локальным участкам, расположенным в основном в подстилающих рудное тело породах ийолит-уртитового комплекса и бедных линзовидно-полосчатых и блоковых рудах. В богатых пятнистых апатитовых рудах скоплений горючих газов не отмечено.

Породы и руды Хибинского массива характеризуются невысокой пористостью (3—5%), в основном закрытого типа, и ничтожной газопроницаемостью, которая в большинстве случаев не превышает сотых, реже десятых долей миллиарда (практически непроницаемые породы). Сорбционная емкость пород массива ничтожна (для апатитовой руды и уррита не более 5,15 л на 1 т породы — в тысячи раз меньше, чем у каменных углей), поэтому все монолитные породы являются плохими коллекторами и даже при больших давлениях не могут содержать значительного количества природного газа.

Газ находится в основном в отдельных микротрещиноватых зонах, которые образуют локальные коллекторы трещинного типа, где в ряде случаев содержатся большие скопления горючих газов, обуславливающие появление в горных выработках суфлярных выделений. Такие локальные скопления горючих газов могли сохраниться лишь вдали от зоны свободного газообмена с поверхностью. Характерно, что разломы и крупные трещины, образовавшиеся после затвердевания пород массива, не содержат скоплений горючих газов.

Важное значение в распределении природных газов имеют подземные воды, которые интенсивно дегазируют окружающие участки. Максимальные количества горючих газов отмечаются вдали от разрушенных шпреуштейнизированных зон, являющихся основными путями инфильтрации поверхностных вод.

В связи с резко расчлененным рельефом и связанной с этим мощной зоной свободного водо- и газообмена наиболее благоприятные условия для сохранения скоплений горючих газов имеют место под платообразными возвышенностями, вдали от выходов рудного тела и вмещающих его пород на поверхность. Так, на Юкспорском и Расвумчоррском месторождениях значительные количества горючих газов были отмечены на глубине

350—600 м от поверхности. Вблизи крутых склонов и в долинах рек породы сильно дегазированы. Горючие газы здесь сохранились лишь в замкнутых изолированных порах и микротрещинах пород.

Различные щелочные породы характеризуются неодинаковым газосодержанием, в первую очередь содержанием углеводородных газов, количество которых достигает 243 см^3 на 1 кг породы (Петерсилье, 1963). Максимальным содержанием горючих газов, в особенности углеводородных, отличаются породы ийолит-уртитового комплекса и хибиниты — $17,5—21^1 \text{ см}^3/\text{кг}$ породы, минимальным — богатые апатитовые руды — $0,84 \text{ см}^3/\text{кг}$ породы. Весьма незначительное количество углеводородных газов отмечено также в более молодых жильных породах и шпреуштейнизированных зонах. В углеводородных газах пород, кроме метана, содержатся его тяжелые газообразные гомологи (в см^3 на 1 кг породы): этан $0,09—0,63$, пропан — $0,32$, изобутан — $0,10$ и нормальные бутаны — до $0,02$ (данные И. А. Петерсилье). Содержание водорода во всех породах значительно меньше — в основном $3—5 \text{ см}^3$ на 1 кг, редко больше.

Кроме указанных компонентов, в породах отмечаются незначительные количества углекислого газа и азота.

Исследование состава и содержания газов, находящихся в микротрещинках и полостях породообразующих минералов, показало, что максимальное количество углеводородных газов содержится в нефелине — до $49,10 \text{ см}^3$ на 1 кг, минимальное — в апатите — $1,27 \text{ см}^3$ на 1 кг. И. А. Петерсилье (1964) установил, что на состав газов минералов и содержание в них отдельных компонентов значительное влияние оказывает состав магматического расплава. Так, одни и те же минералы различных пород массива отличаются по составу газов и содержанию газовых компонентов. В нефелине апатито-нефелиновых пород рудного тела в 4—5 раз меньше углеводородных газов, чем в нефелине пород ийолит-уртитового комплекса и хибинитов. В то же время на состав газов, заключенных в минералах, большое влияние, несомненно, оказывает химический состав минерала-хозяина. В нефелине содержится больше углеводо-

¹ Здесь и ниже приводится среднее содержание горючих газов.

родных газов, чем в других минералах независимо от того, в каких породах он находится; апатит, наоборот, характеризуется минимальным количеством алканов. Много углеводородных газов также в калиевых полевых шпатах. Содержание водорода в отдельных минералах гораздо меньше, чем углеводородных газов, и в среднем не превышает 3—4 см³/кг.

В породах Хибинского щелочного массива содержится связанный азот — $65 \cdot 10^{-4}\%$. По содержанию связанного азота эти породы приближаются к основным. Минимальные концентрации связанного азота наблюдаются в породах, содержащих значительное количество Р₂О₅ (апатитовые руды), что, по-видимому, указывает на различное геохимическое поведение данных элементов с близкими химическими свойствами. Образование аммиака, по-видимому, обусловлено синтезом азота с водородом при температуре 400—600°С, причем катализатором служили сами породы. Протеканию этого процесса способствовало медленное остывание Хибинской щелочной интрузии и наличие свободного водорода и азота. Не исключен также подток глубинного аммиака и сохранение его в отдельных участках массива вместе с углеводородными газами и водородом. Этому способствовала восстановительная обстановка, а также адсорбция некоторых количеств аммиака породами.

Значительное количество горючих газов (Петерсилье, 1964) содержится и в породах Ловозерского щелочного массива, который расположен восточнее Хибинского плутона и в два раза меньше последнего. Он представляет собой дифференцированную интрузию щелочных пород, окруженную гнейсами архейского возраста. В виде остатков покрова массива на отдельных небольших участках сохранились девонские отложения, представленные эффузивами и туфами, а также метаморфизованными осадочными породами (мергелистыми сланцами, кварцитами и песчаниками).

В биотитовых гнейсах архея отмечены небольшие количества водорода (до 3,0 см³ на 1 кг), которые выше, чем содержание метана (0,4—1,8 см³ на 1 кг породы). Из других газовых компонентов И. А. Петерсилье (1964) отмечает углекислый газ — до 0,9 см³ на 1 кг и окись углерода — до 2,10 см³ на 1 кг. Тяжелых углеводородных газов не было установлено.

Эффузивные и туфогенные породы девонских остан-
цов характеризуются в основном невысоким газосодер-
жанием. В составе газа преобладает водород (до
 $16,92 \text{ см}^3$ на 1 кг). Метан содержится в небольших коли-
чествах, обычно не превышающих $1,0 \text{ см}^3$ на 1 кг поро-
ды, в отдельных образцах он вообще отсутствует. Тяже-
лые углеводородные газы в этих породах представлены
этаном и отмечаются крайне редко в количествах, не
превышающих сотые доли кубического сантиметра на
 1 кг породы. Углекислого газа и окиси углерода в них
содержится до $1-2 \text{ см}^3/\text{кг}$.

Метаморфизованные осадочные породы девона встре-
чаются весьма редко. Так же как и эффузивные породы,
они отличаются преобладанием водорода (до 8 см^3 на
 1 кг) и низким (десятые доли кубического сантиметра
на 1 кг породы) содержанием метана. Тяжелые угле-
водородные газы в них отсутствуют. Кроме указанных
компонентов, отмечены небольшие количества углекис-
лого газа и окиси углерода.

По содержанию и составу газов щелочные породы
Ловозерского массива близки к хибинским. В составе
газов пород преобладают углеводороды, содержание ко-
торых достигает $78,49 \%$ (до $32,66 \text{ см}^3$ на 1 кг породы).
Кроме метана, в них установлены этан ($1,27 \text{ см}^3/\text{кг}$),
пропан ($0,87 \text{ см}^3/\text{кг}$) и бутан ($0,08 \text{ см}^3/\text{кг}$). В одном из
образцов был обнаружен изобутан — $0,016 \text{ см}^3$ на 1 кг
породы. Отмечается также зависимость между минера-
логическим и химическим составом щелочных пород и
составом и количеством содержащихся в них газов.
Фойяиты, ювиты и уртиты, в которых больше нефелина
и полевых шпатов, содержат и большие количества
углеводородных газов; в луювритах углеводородных га-
зов почти в два раза меньше. Таким образом, сходство
состава газов щелочных пород Ловозерского и Хибин-
ского массивов может свидетельствовать также о един-
стве процессов их образования.

В породах Хибинского и Ловозерского массивов,
кроме горючих газов, находится рассеянное битуминоз-
ное вещество нефтяного ряда, которое детально изуче-
но И. А. Петерсилье (1963, 1964). Битумы этих пород
по элементарному и групповому составу не отличаются
от рассеянных битумов осадочных пород нефтеносных
районов. В них содержится 30% углеводородов, в соста-

в которых преобладают парафиновые, в меньших количествах присутствуют нафтеновые. В отдельных образцах были отмечены ароматические углеводороды. Битуминозное вещество установлено не только в порах и трещинах пород, но и в минералах. Нефелин, включающий большое количество углеводородных газов, характеризуется повышенным содержанием битумов с высокими концентрациями углерода и водорода. В апатите с незначительным количеством углеводородных газов битумов мало, а углерода и водорода в их составе еще меньше (табл. 7).

Таблица 7

Результаты анализа мономинеральных фракций
(по И. А. Петерсилье)

Минерал	Содержание $S_{орг}$, %	Содержание хлороформного экстракта на породу, %	Элементарный состав битума, %		
			С	Н	Н+О+S
Нефелин из урнита . . .	0,16	0,0016	84,9	13,3	1,80
Нефелин из пегматонидной породы	0,14	0,0027	70,89	10,70	18,41
Черный апатит	0,006	0,0013	68,00	8,91	23,03

Это свидетельствует об определенной генетической связи между углеводородными газами и битуминозным веществом.

В настоящее время наиболее обоснованной и принятой подавляющим большинством исследователей является гипотеза неорганического происхождения горючих газов и битумов Хибинского массива. Она подтверждается наличием во вмещающих породах архея и протерозоя (свита имандра — варзуга) весьма незначительных количеств горючих газов и почти полным отсутствием метана и его тяжелых газообразных гомологов. Содержание органических веществ в породах крайне незначительно. Исключение составляют лишь небольшие линзы графитизированных сланцев, где количество $S_{орг}$ достигает 8%. Однако органическое вещество в результате интенсивного метаморфизма превратилось в графит еще до внедрения крупных щелочных интрузий и, следова-

тельно, не могло служить источником углеводородных газов. Таким образом, углеводородные газы Хибинского и Ловозерского щелочных массивов не могли образоваться ни в результате миграции из вмещающих пород, ни в результате их ассимиляции.

Основные количества горючих газов генетически связаны с щелочными породами и, следовательно, сингенетичны им, а не являются, по-видимому, проявлением подтока указанных компонентов из подкоровых глубин, как предполагают некоторые исследователи (Линде, 1961, 1964 г. и др.). Это подтверждается прямой зависимостью между составом газов и содержанием в них нефелина и, следовательно, силикатов алюминия, пониженным содержанием углеводородных газов и водорода в молодых жильных породах и разрушенных зонах (зонах разломов), наличием этих компонентов в составе газовой-жидких включений, а также различием в составе и содержании горючих газов близко расположенных друг от друга локальных газовых скоплений.

Образование горючих газовых компонентов, по-видимому, происходило по-разному. Водород мог выделяться в результате взаимодействия паров воды с содержащимися в породах алюминием, железом и редкими или с силикатами этих элементов при температуре 700—1000°C. Некоторое количество водорода образовалось, очевидно, при разложении воды радиоактивными элементами, находящимися, в частности, в таких минералах, как ловчоррит и ринколит.

Образование метана могло происходить в результате взаимодействия водорода с углеродом или различными его соединениями, в частности с CO и CO₂. Присутствие в породах таких минералов, как графит и карбоцер (состоит в основном из углерода и церия), указывает на наличие в щелочной магме углерода. Об этом же свидетельствует содержание углекислого газа в ряде проб измельченных пород. В дальнейшем при понижении температуры (меньше 500°C) в результате полимеризации молекул метана или его различных метеновых радикалов могли образоваться тяжелые углеводородные соединения, вплоть до жидких и твердых.

На неорганическое происхождение углеводородных газов и битумов косвенно указывает их изотопный состав. Определение изотопного состава углерода углево-

-дородных газов Хибинского массива, проведенное В. С. Лебедевым и И. А. Петерсилье (1964), показало, что он близок к составу углерода углеводородных газов горячих источников и фумарол и отличается от углерода нефтегазовых месторождений более высоким содержанием C^{13} (δC^{13} колеблется от $-0,90$ до $-1,50\%$). Углерод битумов, извлеченных из хибинитов и уртитов, близок к углероду нефти ($\delta C^{13} = -3,05\%$)¹. Высокое содержание в битумах легкого изотопа углерода, по мнению упомянутых исследователей, объясняется более низкой температурой его образования.

Ультраосновные и щелочные породы, слагающие сравнительно мелкие Ковдорский и Африкандский массивы, согласно данным И. А. Петерсилье (1964), резко отличаются по количеству и составу заключенных в них газов и битумов от таких крупных щелочных массивов, как Хибинский и Ловозерский. Среднее содержание газов в щелочных породах Ковдорского и Африкандского массивов (без азота) не превышало $5,6 \text{ см}^3/\text{кг}$, что в 4—5 раз меньше, чем в щелочных породах ийолит-уртитового комплекса Хибин. В то же время они весьма близки по составу и количеству газов к ультраосновным породам. Содержание метана в этих породах обычно не более $0,5—1,0 \text{ см}^3/\text{кг}$, а тяжелые газообразные углеводороды ($C_2—C_4$) отсутствуют. Водорода в них больше, чем метана, иногда в 3—5 раз (до $3—4 \text{ см}^3/\text{кг}$). Значительные различия отмечаются в количестве и составе битумов. Битумы Ковдорского и Африкандского массивов характеризуются более низким содержанием водорода и углерода и имеют более окисленный характер. Кроме того, по данным спектрального анализа, в них отсутствуют полосы поглощения парафиновых и ароматических структур (Петерсилье, 1963, 1964). По мнению И. А. Петерсилье, это свидетельствует о том, что условия образования углеводородных газов и битумов, а следовательно щелочных пород, Ковдорского и Африкандского массивов отличались от условий Хибинского и Ловозерского плутонов.

Мончегорский массив основных и ультраосновных пород протерозойского возраста расположен в централь-

¹ Согласно последним данным В. С. Лебедева, δC^{13} углеводородных газов изменяется от $-0,90$ до $-1,80\%$, а δC^{13} углерода битумов равна $-3,23\%$.

ной части Кольского полуострова западнее Хибинского массива. Он представляет собой пластообразное тело, залегающее между породами архея и вышележащей свитой имандра — варзуга. Нижняя часть массива мощностью 200 м сложена перидотитами с подчиненными им оливинитами и оливиновыми пироксенитами. Выше по разрезу эти породы чередуются между собой. Верхняя часть массива состоит из пироксенитов.

Состав газа в породах массива довольно однообразный. Постоянными газовыми компонентами являются водород и метан (Петерсилье, 1964). Среднее содержание водорода — $3,27 \text{ см}^3/\text{кг}$, метана — до $0,74 \text{ см}^3/\text{кг}$. Кроме того, были отмечены небольшие количества окиси углерода. Тяжелые углеводородные газы практически отсутствуют. Основные породы отличаются от ультраосновных по содержанию в них метана. Обычно в поритах его в 4—6 раз больше, чем в пироксенитах и перидотитах. И. А. Петерсилье объясняет это различным содержанием в них Al_2O_3 , который является катализатором при синтезе углеводородов. Так, в норите Al_2O_3 примерно в 3 раза больше, чем в пироксените. В породах Мончегорского массива в отдельных случаях отмечаются следы битумов ($0,00015$ — $0,0003\%$).

Оленегорское железорудное месторождение сложено гематито-магнетитовыми сланцами и кварцитами, залегающими среди слюдяных и слюдяно-роговообманковых гнейсов, мигматизированных микроклиновыми гранитами. Возраст пород предположительно позднеархейский. Месторождение приурочено к северо-восточному крылу Заимандровского синклиория. Железистые кварциты смяты в мелкие изоклинальные складки. Гнейсы слагают пластообразные тела и залегают согласно с железистыми кварцитами. Резкой границы между рудой и вмещающими породами нет.

В мае 1960 г. в одной из скважин ударно-канатного бурения глубиной 21 м произошла вспышка горючих газов, по-видимому, от искры, при ударе долота о породу. Пламя поднималось на 2 м выше устья скважины, а площадка станка взрывом была несколько приподнята. Анализ газа, отобранного после вспышки, показал, что в нем содержатся водород, окись углерода, весьма небольшое количество метана, а также углекислый газ (Петерсилье, 1964; Соколов, 1966). Состав газа, выде-

ми, валуно-галечниковыми, аллювиальными, пролювиальными и элювиальными образованиями, также широко развиты в пределах района. Суммарная мощность их местами достигает 100—180 м.

Как и на всей Сибирской платформе, в Норильском районе широкое распространение имеют интрузивные траппы. Наибольшее количество интрузивных тел наблюдается в тунгусской серии и девоне. Интрузивные тела Норильского района подразделяются на три группы: а) дифференцированные, б) слабодифференцированные и в) недифференцированные. Наиболее молодыми являются мелкие жилы и дайки недифференцированных долеритов, а также большая часть дифференцированных интрузий (Лидин, Матвиевский и др., 1966).

К группе дифференцированных интрузий относятся тела с четкой дифференциацией — от кислых (кварцсодержащие породы) до основных и ультраосновных (пикритовые габбро-диабазы, плагиоклазовые порфириды). Обычный разрез таких интрузий следующий (сверху вниз): 1) габбро и диориты, содержащие кварц и микропегматит; 2) габбро-диабазы безоливиновые; 3) габбро-диабазы оливиновые; 4) габбро-диабазы оливино-биотитовые; 5) габбро-диабазы пикритовые, плагиоклазовые перидотиты, оливиниты и троктолиты; 6) габбро-диабазы такситовые и контактовые. С породами нижней части разреза дифференцированных интрузий связано промышленное сульфидное оруденение. В придонных частях интрузий и во вмещающих породах встречаются значительные тела сплошных и богато вкрапленных медно-никелевых руд. Дифференцированные интрузии обычно представляют собой вытянутые языкообразные пологосекущие тела хонолитов, располагающиеся вкрест простирания вмещающих пород вдоль рудоконтролирующих разломов. Их протяженность 5—15 км. К указанным интрузиям относятся Норильск I, Талнах, интрузии Гора Зуб-Маркшейдерская, Гора Черная, Имангда Рудная.

Слабодифференцированные интрузии характеризуются весьма слабой и неотчетливой дифференциацией — от кварцевых диоритов до оливиновых долеритов. Сульфидная вкрапленность в них обычно бедная, непромышленная. Они представляют собой в основном пластовые тела, реже дайки.

Недифференцированные интрузии имеют наиболее широкое распространение. Они однородны по строению и состоят из титано-авгитовых долеритов, безоливиновых, оливинсодержащих, пойкилоофитовых долеритов и др. По форме это sill, пологосекущие тела, дайки и жилы.

Интрузии траппов оказали сильное термальное воздействие на угольные пласты и органическое вещество, заключенное в осадочных породах. В участках контактового метаморфизма степень углефикации углей повышается вплоть до образования природного кокса или графита. Зона контактового метаморфизма образует полосу шириной до 4 м, однако интенсивное влияние интрузий ощущается на расстоянии до 120 м.

М. Н. Годлевский, Г. С. Кравцов и В. М. Сливко (1962) считают, что заметное воздействие на изменение угольных пластов и вмещающих пород оказывает магма с температурой более 1000°C. Эффективность температурного воздействия интрузий на вмещающие породы зависит главным образом от температуры, состава и мощности самих интрузий, степени теплопроводности вмещающих пород и расстояния их от интрузивных тел, а также положения интрузий по отношению к вмещающим породам.

Наиболее интенсивное температурное воздействие на угольные пласты и вмещающие породы оказали дифференцированные интрузии габбро-диабазов, обладающие большим по сравнению с другими интрузиями количеством летучих, имеющие большую мощность и характеризующиеся высокой температурой расплава. Процессы ороговцования распространялись на десятки метров от кровли и почвы интрузий. Метаморфизм вмещающих осадочных пород выразился в их альбитизации и хлоритизации. На контакте интрузий с известняками образовались скарны.

Недифференцированные интрузии оказали значительно меньшее контактное воздействие на вмещающие породы.

Основными тектоническими структурами района являются Норильская, Вологочанская, Хараелахская мульды и Хантайско-Рыбнинский вал. Хантайско-Рыбнинский вал занимает центральную часть Норильского района. Он протягивается в субмеридиональном направ-

лени и разделяет Тунгусскую синеклизу, Норильскую, Хараелахскую и Вологочанскую мульды. Мульды выражены в рельефе в виде плато и в центре сложены мощными толщами эффузивов, а по краям околонтурены породами тунгусской серии. Падение пород на краях мульды в среднем $10-15^\circ$, к центрам мульды оно уменьшается.

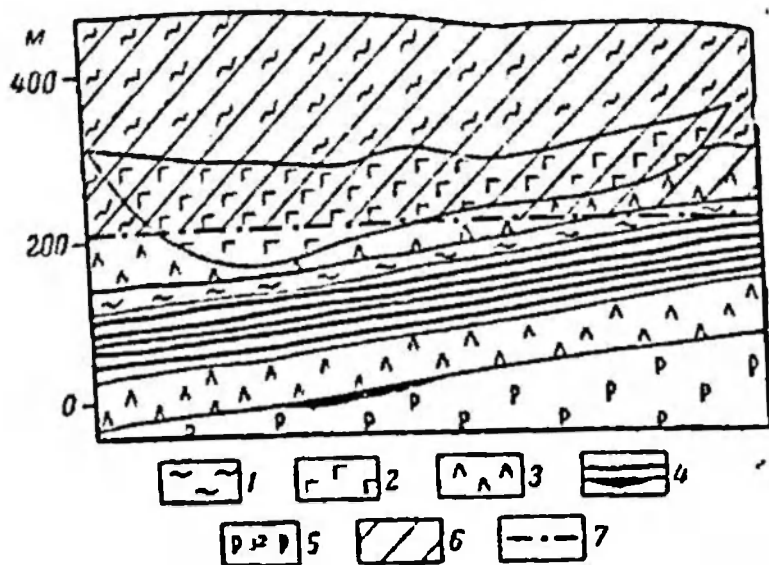


Рис. 10. Геологический разрез месторождения Норильск I в поле рудника Заполярный (по данным Т. Р. Давыловой)

1—эффузивы; 2—рудносные габбро-диориты; 3—безрудные интрузии; 4—продуктивная толща тунгусской серии с пластами угля; 5—непродуктивная толща тунгусской серии; 6—зона многолетней мерзлоты; 7—нижняя граница многолетней мерзлоты.

Норильская мульда имеет длину около 110 км, ширину — 60 км. Вологочанская — длину 80 км, ширину 30 км. Хараелахская мульда по размерам близка к Норильской. Эти крупные структуры осложнены более мелкими антиклинальными и синклинальными складками.

Кроме пликативных нарушений, в районе очень широко распространены дизъюнктивные нарушения с амплитудой от нескольких метров до первых километров. Наиболее крупные нарушения расположены в субмеридиональном направлении, которое соответствует направлению основных пликативных структур. Крупные сбросы сопровождаются более мелкими, оперяющими. Часто отмечаются и поперечные сбросы. В результате образуются участки, разбитые на ряд блоков. Важнейшей ру-

доконтролирующей структурой является Норильско-Хараелахский разлом, прослеживающийся на 150 км. Ширина зоны разлома 1—10 км. К этому нарушению приурочены почти все рудоносные интрузии габбро-диабазов.

Месторождение Норильск I находится в северо-восточной части Норильского плато. Дифференцированная рудоносная интрузия габбро-диабазов приурочена к контакту пород триаса и перми, а на юге месторождения она расположена в угленосных отложениях тунгусской серии. Интрузия перекрыта эруптивной брекчией, состоящей из обломков углей и осадочных пород, сцементированных лавовым материалом. Мощность интрузии изменяется от первых единиц до нескольких сотен метров (рис. 10).

Отложения тунгусской серии, подстилающие и вмещающие рудоносную интрузию Норильск I, содержат пласты каменного угля общей мощностью 10—11 м. Угольные пласты месторождения претерпели значительные термальные изменения на контакте с интрузивными телами. Мощность тунгусской серии 195—287 м.

Для месторождения характерны простые пликативные дислокации и сложная сеть дизъюнктивных нарушений преимущественно сбросового характера с амплитудой от единиц до нескольких сотен метров. Сбросы сопровождаются зонами повышенной трещиноватости пород.

На месторождении почти повсеместно развита многолетняя мерзлота, которая распространяется на глубину до 250—347 м. Лишь на юге месторождения имеется сквозной талик. Многолетняя мерзлота широко развита в пределах других рудных месторождений района и оказывает значительное влияние на современное распределение природных газов. Она является газонепроницаемым экраном, препятствующим миграции природных газов в атмосферу. Вследствие этого у нижней границы мерзлых пород образовались скопления природных газов. На участках сквозных таликов наблюдается понижение газоносности. Следует отметить, что в зоне вечной мерзлоты угольные пласты обладают повышенной сорбционной емкостью.

В состав газов месторождения входят метан, водород, тяжелые углеводороды (от этана и выше), углекис-

лый газ, азот. Изредка отмечается сероводород и окись углерода. Сероводород был обнаружен в подземных выработках одного из рудников, где он выделялся из подземных вод (Лидин и др., 1966). Окись углерода установлена преимущественно вблизи контакта угленосных отложений с изверженными породами.

Газосодержание пород месторождения колеблется в широких пределах.

Количество природных газов в осадочных породах тунгусской серии (за исключением угольных пластов) в целом невелико. Содержание углеводородных газов (главным образом метана) лишь в редких случаях превышает 100 см^3 на 1 кг породы, а водорода $50-60 \text{ см}^3/\text{кг}$. Характерно, что основное количество горючих газов выделяется из пород с небольшим содержанием углистого вещества лишь после их измельчения. Содержание углеводородных газов и в ряде случаев водорода значительно возрастает у разностей, обогащенных растительными остатками. Чаще всего это породы, вмещающие угольные пласты. В углистых сланцах количество углеводородных газов достигает $6000 \text{ см}^3/\text{кг}$ (до $6 \text{ м}^3/\text{т}$). В углистых песчаниках содержится почти столько же углеводородных газов. В тех и других породах вблизи интрузивных тел, по данным Т. С. Даниловой, отмечалось также большое количество тяжелых углеводородных газов (до $900 \text{ см}^3/\text{кг}$), а в отдельных случаях значительное количество водорода — до $200 \text{ см}^3/\text{кг}$. Из изложенного очевидно, что обогащенные углистым веществом породы тунгусской серии содержат довольно значительные количества углеводородных газов и в отдельных случаях водорода.

Однако основным источником горючих газов описываемого месторождения являются угольные пласты, содержание углеводородных газов в которых достигает $13-14 \text{ см}^3/\text{г}$ (до $14 \text{ м}^3/\text{т}$), или 99%, а водорода $1,5-2,3 \text{ см}^3/\text{г}$ (до $2 \text{ м}^3/\text{т}$). Тяжелые углеводородные газы в угольных пластах встречаются довольно часто и в значительных количествах — до $1,0 \text{ см}^3$ на 1 г породы ($1,0 \text{ м}^3/\text{т}$). Тяжелые углеводороды представлены непрерывным рядом от этана до пентана включительно. В отдельных случаях были отмечены весьма небольшие количества и более тяжелых углеводородов. Преобладающим компонентом тяжелых углеводородных газов

является этан, содержание которого составляет 60—80%.

Основное количество водорода и тяжелых углеводородных газов сконцентрировано в угольных пластах, подвергшихся интенсивному контактовому воздействию при внедрении интрузий. Проведенные А. П. Ван-Ван-Е и нами исследования показали, что в зоне контактового метаморфизма угли претерпевают в основном такие же изменения, как и при искусственном коксовании. При этом образуются различные газовые компоненты, в том числе водород, метан, тяжелые углеводороды, окись углерода и т. д. Следовательно, при контактовом метаморфизме, так же как и при коксовании, выделялось значительное количество различных газовых компонентов, из которых лишь наиболее устойчивые (метан, водород и тяжелые углеводородные газы) сохранились в течение длительного времени (примерно с раннего триаса) или в самих угольных пластах, или в выше расположенных изверженных породах.

Газоносность изверженных пород и залегающих среди них рудных тел определяется в основном газами, находящимися в свободном состоянии как в замкнутых изолированных породах, микротрещинах и пустотах, так и в сообщающихся между собой трещинах и трещиноватых зонах у разрывных нарушений.

Сами изверженные породы и медно-никелевые руды характеризуются низким газосодержанием (обычно не более 100 см^3 на 1 кг породы, или до $0,1 \text{ м}^3/\text{т}$). Преобладающим газовым компонентом является азот. Содержание углеводородных газов не превышает первых десятков кубических сантиметров, редко до $50\text{--}60 \text{ см}^3$ на 1 кг породы, водорода $10\text{--}15 \text{ см}^3/\text{кг}$ и углекислого газа — $20 \text{ см}^3/\text{кг}$. Природные газы изверженных пород в большинстве случаев содержатся в закрытых порах и выделяются лишь после измельчения.

Поскольку рудные тела и вмещающие их габбро-диабазы, а также ряд более мелких интрузивов расположены на контакте с угленосными отложениями тунгусской серии или непосредственно среди них, они должны быть очень насыщены углеводородными газами так как прорывают угольные пласты или богатые органическим веществом породы. Эффузивы же должны были бы содержать гораздо меньше горючих газов. В

действительности же они почти не отличаются от эффузивов как по содержанию, так и по составу газов. Определение органического углерода в магматических породах, проведенное А. П. Ван-Ван-Е и нами в 1953—1954 гг. (Фридман, 1961), показало, что его содержание составляет тысячные и десятитысячные доли процента.

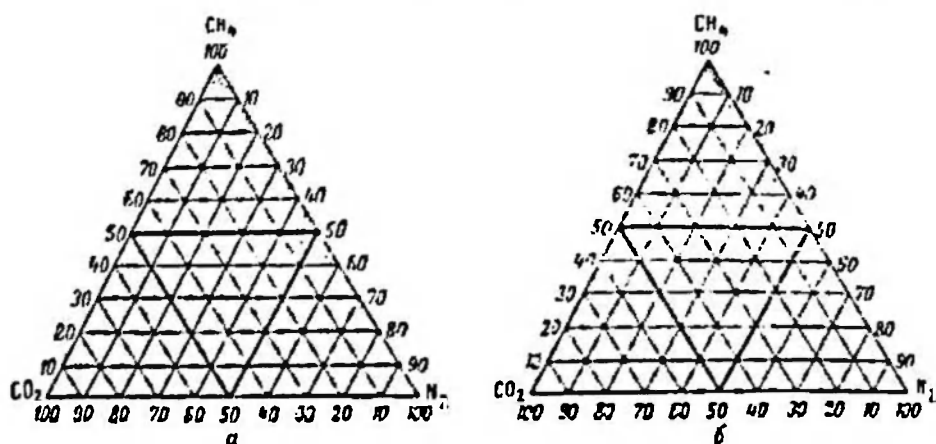


Рис. 11. Состав газов рудника Заполярный.
а — газы из углей; б — свободно выделяющиеся (сульфурные) газы.

Это свидетельствует об отсутствии сколько-нибудь значительной ассимиляции и, следовательно, невозможности образования горючих газов в больших масштабах благодаря этим процессам. Высокогазоносными являются лишь горизонты эруптивной брекчии, содержащие большое количество обломков сильно метаморфизованных углей и осадочных пород с углистым веществом.

Гораздо большее значение для газоносности рудных тел и вмещающих их изверженных пород имеют газы, мигрировавшие из угленосных отложений тунгусской серии и скопившиеся в отдельных крупных трещинах и трещиноватых зонах, связанных с разрывными нарушениями. Основной газовый компонент здесь — метан, содержание которого достигает 99,9% (рис. 11). В момент вскрытия выработками или скважинами трещиноватых зон в изверженных породах в составе газов отмечается и значительное количество водорода, концентрация которого быстро уменьшается. Так, в начальный момент газирования одной из скважин, бурившихся на руднике Заполярный, содержание водорода составляло 21,5%. Дебит отдельных скважин, газифицирующих водородом, со-

ставлял 6 л/мин. Выделяющиеся газы содержат также значительное количество азота — до 30%. В составе углеводородных газов в ряде случаев отмечается и повышенное содержание тяжелых углеводородов (2—3%), представленных в основном этаном.

Газы, находящиеся в трещиноватых зонах, образуют довольно крупные скопления, при вскрытии которых горными выработками наблюдаются интенсивные и длительные суфлярные выделения. В случае подсечения газовых скоплений скважинами часто имеют место выбросы газа. Так, по одной из подземных скважин на руднике Заполярный обильное поступление газа происходило под давлением 6—7 ат, из скважины вылетали обломки пород размером до 6—7 мм. Начальный дебит газа составлял 2000 л/мин. От искры над скважиной образовался факел, который удалось потушить лишь спустя несколько суток. В составе газов было отмечено 99,9% метана и 0,1% углекислого газа.

Интенсивные выбросы газа с пожарами имели место при бурении в трещиноватых породах эруптивной брекчии. Весьма крупные газовыделения были отмечены на нижних горизонтах рудника Заполярный, где дебит суфлярных выделений в среднем достигал 3000 м³/сутки. За 13 лет (с 1950 по 1962 г.) в выработки нижних горизонтов рудника выделилось около 13 млн. м³ метана (Лидип, Жмурко, Садовский и др., 1963). Интенсивность поступления метана с вновь обнаженной поверхности горных пород на горизонтах 162—140 м рудника (северное крыло) в среднем составляла 15—16 м³/сутки с 1 м² почвы выработки, в некоторых местах — до 22—23 м³/сутки. Такие газовыделения продолжались до 8 месяцев, иногда до 2 лет.

Крупные скопления углеводородных газов в трещинах изверженных пород и рудного тела месторождения Норильск I обусловлены интенсивным поступлением их из угленосных отложений тунгусской серии по разломам и системам сообщающихся трещин. Большое количество разрывных нарушений, сопровождаемых зонами повышенной трещиноватости пород, отсутствие свободного газообмена с атмосферой благодаря наличию мощной толщи многолетней мерзлоты, благоприятствовали накоплению и сохранению больших количеств горючих газов в изверженных породах месторождения.

Месторождение Талнах приурочено к крайней юго-западной части плато Хараелах (севернее г. Норильск) и имеет сложное геологическое строение. В нем принимают участие отложения нижнего и среднего палеозоя, состоящие в основном из карбонатных пород, и верхнего палеозоя, представленные континентальными угленосными отложениями тунгусской серии. Широкое развитие имеют породы туфолоавовой толщи и интрузивные породы.

Образования девона, являющиеся наиболее древними в пределах вскрытой части месторождения, представлены известняками, доломитами, иногда имеющими кавернозное строение, аргиллитами и мергелями с прослоями ангидритов и гипсов. Мощность девонских отложений 800—1000 м.

Континентальные отложения пермо-карбона имеют почти повсеместное распространение. Они представлены песчаниками, алевролитами, аргиллитами с невыдержанными по мощности пластами каменного угля — от 0,2 до 8,5 м. Суммарная мощность угольных пластов в целом по месторождению 0,2—10,35 м, в южной части 0,75—6,7 м. Общая мощность угленосных отложений месторождения колеблется от 0 до 235 м.

Тунгусская серия на месторождении Талнах неоднократно подвергалась размыву, что послужило причиной сокращения ее мощности по сравнению с другими месторождениями района и полного или частичного отсутствия некоторых угольных пластов. Кроме того, местами отложения тунгусской серии частично или полностью были ассимилированы интрузиями. На участках, где отложения тунгусской серии ассимилированы не полностью, они включают прослойки изверженных пород, суммарная мощность которых изменяется в пределах 10—181 м.

Породы эффузивно-туфогенного комплекса представлены базальтами с прослоями туфов и туфобрекчии общей мощностью 350—550 м.

Четвертичные валуно-галечные и суглинистые отложения широко развиты и имеют мощность до 80 м.

Интрузивные породы представлены габбро-диабазами, габбро-долеритами и долеритами. Основная масса трапповых недифференцированных интрузий залегает в виде пластовых секущих линзообразных и дайкообраз-

ных тел различных размеров, мощностью от 5 до 215 м. Рудоносная интрузия габбро-диабазов имеет неправильную линзообразную форму, является секущей по отношению к вмещающим породам и залегает в основном в отложениях тунгусской серии, замещая ее полностью или частично. Вдоль контакта интрузии с породами тунгусской серии образовалась зона брекчированных пород.

Интрузивные тела, гидротермальные и рудные растворы оказали большое влияние на вмещающие отложения. Оно выразилось в переплавлении и частичной перекристаллизации отдельных пород, образовании роговиков, окремнении, карбонатизации и т. д. Вблизи интрузивных тел угольные пласты также претерпели значительные качественные изменения: графитизация, насыщение сульфидными и кальцитовыми прожилками, увеличение серности и зольности.

Месторождение Талнах расположено в зоне сочленения Хараелахской мульды и Южно-Пясинского антиклинального поднятия. Оно характеризуется наличием многочисленных разрывных нарушений различных амплитуд, входящих в зону Хараелахско-Норильского разлома. Многочисленные нарушения сопровождаются зонами трещиноватых пород.

Мощность многолетней мерзлоты на месторождении изменяется в широких пределах — от 2—5 до 375 м.

Природные газы месторождения состоят из метана с примесью тяжелых газообразных углеводородов (этан, пропан, иногда бутан), сероводорода, углекислого газа и азота. Основным газовым компонентом является азот. Широко распространены углеводородные газы и водород, содержащиеся местами в большом количестве. Углекислый газ и сероводород встречаются обычно в виде примесей. Максимальные количества углеводородных газов приурочены к угольным пластам — до $7,76 \text{ см}^3$ на 1 г породы или 99% объема газовой смеси (данные Т. Р. Даниловой): В ряде проб угля обнаружен водород, содержание которого достигало 12,7%, или $0,083 \text{ см}^3/\text{г}$ (до $0,083 \text{ м}^3/\text{т}$). Тяжелые углеводородные газы представлены в основном этаном; содержание их в ряде проб угля составляло 0,15—8,3%, а в графитизированных разностях — всего 1,0—1,8%. В целом содержание горючих газов в угольных пластах описываемого месторож-

дения значительно меньшее, чем на месторождении Норильск I.

Степень газонасыщенности осадочных пород зависит от количества содержащегося в них органического вещества. Содержание метана в аргиллитах составляло $3750 \text{ см}^3/\text{кг}$, тяжелых углеводородных газов — до $173 \text{ см}^3/\text{кг}$ (до 15,3%). В песчаниках, известняках и доломитах метана не более $150\text{--}200 \text{ см}^3/\text{кг}$. Минимальным содержанием углеводородных газов характеризуются метаморфизованные породы, в особенности роговики. Высоким газосодержанием отличаются карбонатные породы девона, что объясняется наличием в них твердых и жидких битуминозных веществ. В отдельных случаях из пород выделялась капельно-жидкая нефть (Данилова, 1964).

Изверженные породы месторождения Талнах обладают меньшей газонасыщенностью, чем осадочные. Среди изверженных пород, по данным Т. Р. Даниловой (Лидин и др., 1966), наибольшим остаточным содержанием метана (до 70,4%, или 77 см^3 на 1 кг породы) характеризуются базальты, а наименьшим — габбро-диориты; в последних метана 1,9% ($5 \text{ см}^3/\text{кг}$). Количество водорода в изверженных породах обычно небольшое — до $50 \text{ см}^3/\text{кг}$, лишь в отдельных пробах — $100\text{--}120 \text{ см}^3/\text{кг}$. Максимальным содержанием водорода характеризуются базальты.

Интрузивная деятельность оказала значительное влияние на газоносность описываемого месторождения. Оно выразилось как в привносе некоторого количества газов интрузиями и дальнейшем их сохранении в порах и замкнутых трещинах пород, так и в интенсивном термальном воздействии на угольные пласты, что обусловило образование значительных количеств углеводородных газов и водорода.

Природные газы месторождения находятся в основном в свободном состоянии в открытых трещинах и полостях пород и при бурении выделяются в промысловую жидкость, а также растворены в подземных водах. Газосодержание промысловой жидкости $100\text{--}580 \text{ см}^3/\text{л}$. Основным газовым компонентом является азот. Метан встречается в количестве $0,01\text{--}81,0 \text{ см}^3/\text{л}$, тяжелые газообразные гомологи метана — до $2,55 \text{ см}^3/\text{л}$, водород — $54,5 \text{ см}^3/\text{л}$. Заметное увеличение содержания горючих

газов наблюдается при бурении в угольных пластах, а также под монолитными силами долеритов, являющихся газонепроницаемым экраном. Свободные газы-деления чаще всего связаны с самоизливающимися подземными водами. Газовыделения фиксируются во всех породах и имеют дебиты до 0,5 л/мин. Эти газы преимущественно азотные. Значительных скоплений углеводородных газов не было отмечено.

Пологое залегание угольных пластов и вмещающих их осадочных пород, а также наличие в ряде случаев довольно мощной (до 80 м) толщи четвертичных отложений благоприятствовали сохранению газов. Однако большое количество разрывных нарушений, сопровождаемых зонами дробления и повышенной трещиноватости пород, и островной характер многолетней мерзлоты (в центральной части месторождения она слабо развита или вообще отсутствует) способствовали интенсивной дегазации угленосных отложений и рудоносной интрузии. Вследствие этого газоносность месторождения Талнах гораздо ниже газоносности месторождения Норильск I.

Месторождение Гора Черная расположено в 12 км к юго-юго-востоку от г. Норильск. В геологическом строении его принимают участие морские отложения девона, представленные сланцами и мергелями, общей мощностью около 300 м, угленосные континентальные отложения тунгусской серии, частично размытые в восточной части месторождения и достигающие мощности 300 м в западной части, и эффузивная толща триаса мощностью от 50 до 250 м. В угленосных отложениях установлены силлы титан-авгитовых диабазов. Вкрапленные руды месторождения расположены в придонной части дифференцированной интрузии габбро-диабазов, залегающей между породами девона и тунгусской серии. На месторождении повсеместно развита многолетняя мерзлота.

Газосодержание изверженных пород низкое. В составе газов преобладает азот (до 12,8 см³ на 1 кг породы). В замкнутых порах пород обнаружены метан и водород (до 7 см³ на 1 кг породы). Метан в основном отмечается в морских отложениях девона, содержащих битуминозное вещество, и угленосных отложениях тунгусской серии. Преобладающее количество горючих га-

зов месторождения находится в свободном состоянии в трещинных изверженных породах.

Месторождение Гора Зуб-Маркшейдерская расположено в 12 км к западу от г. Норильск. Рудоносная дифференцированная интрузия приурочена к девонским отложениям. Последние представлены мергелями и сланцами с прослоями и линзами гипса. Они вмещают ряд пластообразных недифференцированных интрузий габбро-диабазов мощностью до 10 м каждая.

Месторождение в целом характеризуется низкой газонасыщенностью. Содержание углеводородных газов не превышает единиц, реже первых десятков $\text{см}^3/\text{кг}$ породы. Водород встречается редко и в небольших количествах (менее 10 см^3 на 1 кг породы). В трещиноватых зонах изредка отмечаются небольшие скопления метана и водорода. Низкая газоносность месторождения объясняется отсутствием здесь угленосных отложений тунгусской серии, а также значительной дегазацией, которая интенсивно протекала в связи с отсутствием газонепроницаемой покрышки до образования многолетней мерзлоты.

В геологическом строении *рудоявления Имангда Рудная* принимают участие осадочные породы девона и силура. Рудоносная интрузия габбро-диабазов залегает или среди плотных кристаллических известняков верхнего силура, или на контакте с гипсоносными мергелями и известняками девона.

Изверженные породы содержат весьма небольшое количество углеводородных газов — десятые доли кубического сантиметра на 1 кг породы. В мергелях и известняках углеводородных газов $9 \text{ см}^3/\text{кг}$; кроме того, в них было отмечено до $3,0 \text{ см}^3/\text{кг}$ водорода и $51 \text{ см}^3/\text{кг}$ углекислого газа. В трещиноватых зонах рудоявления сохранились газовые скопления, при вскрытии которых интенсивно выделялся газ. При бурении одной из скважин в ороговикованных гипсоносных мергелях девона имели место неоднократные небольшие выбросы газа и слабое фонтанирование промывочной жидкости, в течение 17 дней. При соприкосновении с открытым огнем газ взрывался и горел. В составе газов, находящихся в промывочной жидкости в момент фонтанирования, было отмечено до 14% ($17,8 \text{ см}^3/\text{л}$) метана и до 25,1% ($32,0 \text{ см}^3/\text{л}$) водорода.

В заключение следует отметить, что основные скопления горючих газов медно-никелевых месторождений Норильского района образовались главным образом в результате поступления их из угольных пластов тунгусской серии или морских отложений девона и силура, богатых органическим веществом. Горючие газы, содержащиеся в незначительных количествах в изверженных породах и рудах, сингенетичны им и имеют abiогенное — магматическое происхождение.

ЗОЛОТОРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАЛА, СИБИРИ, КАЗАХСТАНА И ЗАБАЙКАЛЬЯ

Месторождения Урала и Сибири. О наличии углеводородных газов в рудниках, разрабатывающих россыпные месторождения золота, впервые отмечал в 1932 г. А. А. Скочинский. Выделения метана наблюдались в горных выработках Шуралинского прииска на Урале. Затем длительные выделения углеводородных газов были отмечены в ряде других россыпных месторождений, разрабатываемых подземным способом. Было установлено, что в россыпных месторождениях золота Тогульского и Егоровско-Талакирского районов Западной Сибири имеет место постоянное выделение небольших количеств метана. Месторождения золота здесь залегают на глубине от 8 до 36 м от поверхности и перекрываются современными отложениями с торфом. Предполагается, что вода с растворенным газом, образовавшимся в процессе разложения торфа, поступает в горные выработки и здесь частично дегазируется. В горных выработках наблюдается устойчивая концентрация метана, в большинстве случаев не превышающая 0,05—0,20%. В некоторых старых тупиковых выработках содержание метана в рудничном воздухе превышало 5—10%.

Небольшие концентрации метана были отмечены при эксплуатации россыпных месторождений золота подземным способом и в других районах СССР: на Урале, в Горной Шории, в Забайкалье, на Дальнем Востоке, на р. Лене. На Урале метан был обнаружен в Исковском районе в россыпи вблизи р. Фединка. В Горной Шории он встречается при подземных разработках россыпей на участках Казаны, Джелсай и др. (Войтов, 1962). В Забайкалье метан был обнаружен при проходке раз-

ведочных дудок и бурении скважин над старыми выработками прииска Усть-Карска в 1936 г.

В Бодайбинском золотоносном районе на одной россыпи, залегающей глубоко под озерно-болотистыми отложениями в долине р. Кадоликан, при разведочном бурении в годы Великой Отечественной войны с глубины 19 м почти из всех буровых скважин под давлением и в больших количествах интенсивно выделялся газ, содержащий более 15% метана.

Значительный интерес представляют газопроявления, отмеченные при эксплуатации отдельных коренных месторождений золота Казахстана и Забайкалья.

Золоторудное месторождение Бестюбе расположено в Целинном крае Казахской ССР. Осадочная толща, представленная переслаивающимися песчаниками и аргиллитами, относится к ордовику. Она прорвана интрузией кварцевых диоритов, которая оказала сильное термальное воздействие на вмещающие осадочные породы. Приконтактовое ороговикование пород распространяется на 10—15 м, биотитизация — на 50—60 м от контакта. Температурное воздействие интрузии на органическое вещество, находящееся в осадочных породах, несомненно, охватило значительно большие площади. Рудоносные кварцевые жилы имеют падение, обратное по отношению к толще осадочных пород и интрузивному телу.

Газопроявления на руднике Бестюбе изучали В. В. Шершуков, Н. Г. Матвиенко и Г. И. Войтов (1963) по подземным разведочным скважинам и в северном квершлага горизонта +430 м шахты Западная. Выделяющиеся газы, по данным этих исследователей, представлены в основном метаном (более 80%). Водорода в свободно выделяющихся газах не было обнаружено. Содержание углекислого газа не превышало 0,35%.

В 15 км от рудника расположена Тамсорская мульда, в которой среди отложений карбона залегают угольные пласты. Это послужило основанием для гипотезы, что источником газовой выделений на шахте Западная (рудник Бестюбе) являются угольные пласты. Однако геологические условия рудника и района в целом свидетельствуют, по мнению В. В. Шершукова и др., о том, что нет никаких оснований связывать газы рудника с угольными пластами Тамсорской мульды, так как уголь-

ные пласты залегают в отложениях карбона, т. е. стратиграфически выше осадочной толщи ордовика. Кроме того, угольные пласты в мульде залегают на 150—200 м выше золоторудных жил Бестюбе. При таком соотношении глубин залегания, а также в связи с сравнительно большим расстоянием от угольных пластов до золоторудного месторождения исследователи, по нашему мнению, совершенно правильно отрицают возможность проникновения горючих газов из угольных пластов в золоторудные жилы и вмещающие их осадочные породы.

В. В. Шершуков, Н. Г. Матвиенко и Г. И. Войтов считают, что наиболее вероятны два пути образования горючих газов: а) в результате температурного воздействия интрузии кварцевых диоритов на органическое вещество, заключенное в осадочных породах, в первую очередь в аргиллитах; б) в результате привноса газов интрузивным телом или подтоком их по разломам из магматических очагов. По всей вероятности, более правильным следует считать первое предположение, о чем свидетельствует высокое содержание органического вещества в отложениях ордовика, а также наличие углистых и графитовых сланцев в отложениях синия.

Установлено, что скопления природных газов на руднике Бестюбе обычно невелики и локализованы в отдельных небольших участках повышенной трещиноватости пород. В отдельных случаях газовыделения приурочены к кальцитовым прожилкам, которые сопровождаются маломощными зонами дробления.

Газовыделения, установленные по буровым скважинам и отдельным горным выработкам, имели небольшую интенсивность и были сравнительно кратковременны (до 4 суток). Это объясняется отсутствием значительных источников горючих газов и практически неощутимой миграцией из глубин.

Балейские золоторудные месторождения расположены в пределах Восточного Забайкалья, где распространены газопроявления в виде газифицирующих минеральных источников или «сухих» газовых струй. В большинстве случаев эти газопроявления приурочены к наиболее молодым крутопадающим нарушениям. Н. Н. Куликова (1964) выделяет в пределах Восточного Забайкалья три главных типа газопоявлений: углекислый, азотный и углеводородный.

Балейские месторождения приурочены к одноименной грабенообразной депрессии, расположенной в пределах герцинской складчатой зоны Восточного Забайкалья (Петровская, Бериштейн и др., 1961). Борта и дно Балейской депрессии сложены в основном верхнепалеозойскими гранитоидами Ундинской интрузии, в

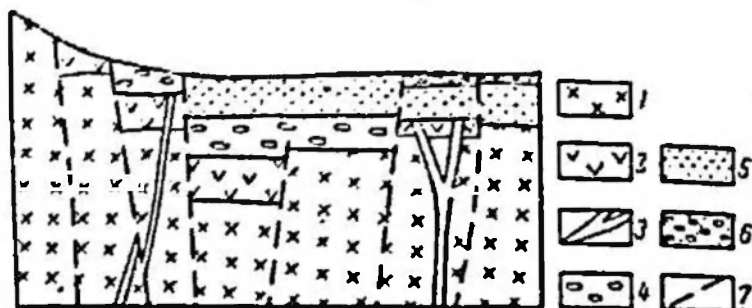


Рис. 12. Схема геологического строения Балейской депрессии.

1—верхнепалеозойские гранитоиды; 2—верхнеюрская эффузивно-осадочная толща; 3—послеверхнеюрские диоритовые порфириты; 4—конгломераты тергенской свиты (нижний мел); 5—песчаники балейской свиты (нижний мел); 6—конгломераты каменской свиты (палеоген—неоген); 7—тектонические нарушения.

которых кое-где сохранились докембрийские метаморфизованные породы. В западной и южной частях депрессии в основании развиты верхнеюрские вулканогенно-осадочные образования, перекрывающие ундинские гранитоиды. Осадочная толща, заполняющая грабен, представлена континентальными отложениями нижнего мела или верхней юры — нижнего мела, а также палеогеновыми и четвертичными отложениями (рис. 12).

В геологическом строении Балейского района принимают участие докембрийские, мезозойские и кайнозойские образования.

Докембрийская толща интенсивно метаморфизована и сложена кристаллическими сланцами, мраморами и амфиболитами. Верхнеюрские отложения представлены талангуйской свитой, развитой в юго-восточной и юго-западной частях Балейской депрессии, где они залегают на размытой поверхности ундинских гранитоидов. Свита состоит из туфов, туфобрекчий, туфоконгломератов, туфопесчаников, содержащих незначительное коли-

чество растительных остатков, и порфиристов. Общая мощность этих отложений 150—300 м.

Нижнемеловые отложения представлены двумя свитами — тергенской и балейской. Тергенская свита развита в основном на юго-западе и юго-востоке грабена и состоит главным образом из крупногалечных конгломератов, среди которых встречаются прослои мелкогалечных конгломератов с линзами крупнозернистых песчанников. В составе обломков преобладают ундинские гранитоиды.

Отложения тергенской свиты имеют аллювиальное происхождение. Общая мощность отложений тергенской свиты 250—400 м.

Балейская свита широко распространена почти по всей площади Балейской депрессии. Она представлена переслаивающимися песчаниками и алевролитами с подчиненными прослоями мелкогалечной брекчии и конгломератов. В песчаниках и алевролитах присутствует значительное количество обуглившихся растительных остатков, имеются конкреции сидерита и пирит. По периферии депрессии эти отложения постепенно сменяются фангломератами, конгломерато-брекчиями и дресвяпиками с песчано-глинистыми линзочками, обогащенными растительными остатками. Общая мощность балейской свиты 350—600 м.

Палеоген-неогеновые отложения (каменная свита) развиты в северо-восточной части депрессии и представлены валунно-галечными плохо сцементированными конгломератами. В толще конгломератов выделяются отдельные горизонты песчано-глинистых пород. Мощность отложений каменной свиты 70—100 м.

Четвертичная толща сложена косослонистыми песчаниками и плохоокатанными галечниками, которые образуют выклинивающиеся линзы, аллювиальными и делювиальными образованиями. Мощность отложений 10—20 м.

В пределах Балейских месторождений установлены интрузивные и эффузивные образования. Верхнепалеозойские ундинские гранитоиды слагают борта и дно Балейского грабена и широко известны за его пределами. Они состоят из биотитовых гранитов, гранодиоритов и лейкократовых гранитов.

Нижемезозойские борщевочные граниты расположены у северной границы грабена и представлены главным образом порфиroidными разностями. Вблизи контакта с удинскими гранитами они превращены в милониты. Абсолютный возраст их, определенный свинцовым методом, примерно 120 млн. лет (ранняя юра).

Верхнеюрские эффузивы состоят из разнообразных порфиритов, сопровождающихся продуктами вулканических извержений. Верхнеюрские малые интрузии развиты в наиболее нарушенных участках грабена. Это дайки и мелкие штоки, имеющие крутое падение и мощность, от единиц до десятков метров. Интрузивные тела сложены в основном гранит-порфирами.

В послераннемеловое — допалеогеновое время в описываемом районе интенсивно проявились гидротермальные процессы, с которыми связано образование золоторудных месторождений. Они приурочены к удинским гранитоидам, конгломератам и песчаникам Балейского грабена. Золотое оруденение по морфологическим особенностям относится к жильным образованиям, сопровождающимся мелкопрожилковой и вкрапленной минерализацией.

Основные рудопроявления здесь сосредоточены в пределах тектонически наиболее нарушенных участков средней части депрессии, где образуют рудные узлы: Балейский, Тасеевский, Нижне-Кокуйский. В северной части рудного поля (Балейское месторождение), где породы разбиты на мелкие блоки, оруденение носит в основном штокверковый характер. В южной части Балейского грабена (Тасеевское месторождение), где развиты тектонические нарушения северо-восточного простирания, преобладают протяженные жилы и жильные зоны, в которых локализовано оруденение. Рудные зоны имеют мощность от нескольких до первых сотен метров. Основным жильным минералом является кварц (90—99%). Из рудных минералов в жильных телах, кроме золота, присутствует весьма небольшое количество сульфидов (0,05—1,5%).

Характерной особенностью Балейских месторождений является слепой характер оруденения; рудные тела перекрыты наносами мощностью 50—100 м.

Непосредственно в пределах Балейского района молодой вулканизм не проявлялся, однако поблизости

(в верховьях р. Дая и нижней части долины р. Ага) развиты четвертичные базальты. Следы поствулканической деятельности в районе сохранились до настоящего времени в виде выходов многочисленных углекислых минеральных источников и струй свободного CO_2 , приуроченных к разрывным нарушениям, вмещающим трещиноватые и раздробленные кварцевые жилы.

Балейский район отличается сложным тектоническим строением. Это изолированный асимметричный грабен, который расположен в пределах более крупной позднеюрской Ундино-Данской депрессии, протягивающейся в северо-восточном направлении. Балейская депрессия вытянута в восточно-северо-восточном направлении и имеет протяженность около 10 км, при ширине 6—7 км. На северо-западе грабен примыкает к Борщевочному антиклинорию, в ядре которого вдоль регионального Борщевочного разлома развит крупный интрузив гранитов. Южнее грабен контактирует с верхнепалеозойскими ундиинскими гранитоидами.

Породы грабена разбиты на отдельные блоки, смещенные один относительно другого разновозрастными нарушениями. Амплитуды смещения достигают первых сотен метров. Эти нарушения имеют в основном северо-восточное и меридиональное направления и в большинстве случаев являются крутопадающими ($70—75^\circ$). Большая часть нарушений образовалась до отложения балейской свиты или одновременно с ней. Существует мнение, что они продолжаются на значительную глубину в породы фундамента и имеют связь с Борщевочным глубинным разломом, обновлявшимся вплоть до четвертичного времени. Послерудная тектоническая деятельность выразилась в подновлении ряда имеющихся нарушений и образовании поперечных сбросов, сместивших рудные тела.

Балейский район характеризуется довольно разнообразными гидрогеологическими условиями. Депрессия является межгорным артезианским бассейном. Непроницаемые глинистые породы перекрывают водоносные трещиноватые зоны и препятствуют свободному водногазообмену с поверхностью. Значительную роль играет также наличие островной многолетней мерзлоты, мощность которой достигает 40 м. Наибольший интерес при изучении газоносности представляют высоконапор-

ные минерализованные углекислые воды, распространенные в основном на участках локализации рудной минерализации и приуроченные к тектоническим нарушениям, выполненным кварцевыми жилами. К безрудным тектоническим нарушениям приурочены слабоминерализованные либо пресные воды. Напорные воды относятся к гидрокарбонатно-натриево-кальциевому типу и имеют минерализацию до 8,1 г/л. Согласно мнению В. П. Новик-Качана (1958 г.), эти воды являются первичными и формирование их происходило под влиянием рудообразующих процессов и пострудной гидротермальной деятельности.

Основной газовый компонент Балейских золоторудных месторождений — углекислый газ, который содержится в столь больших количествах, что в ряде случаев препятствует разработке полезного ископаемого. Метана, водорода и азота меньше, однако в отдельных случаях концентрация их достигает значительных величин.

Пробладающее количество природных газов выделяется в виде «сухих» газовых струй или вместе с минерализованными напорными водами. Эти газопроявления чаще всего приурочены к наиболее молодым крутопадающим нарушениям северо-восточного простирания, выполненным, как правило, кварцевыми жилами. С глубиной количество газов, поступающих в горные выработки, возрастает, а дебит воды уменьшается.

Свободно выделяющиеся газы представлены почти целиком углекислым газом (до 99,9—100%). Метан был отмечен в единичных пробах (сотые — десятые доли процента). В весьма незначительных концентрациях (тысячные — сотые доли процента) встречается и водород. Количество углекислого газа, выделяющегося в рудничную атмосферу, достигает больших величин. В частности, на одном из рудников содержание его достигало 12,8 м³/т суточной добычи, а абсолютная газообильность небольшой шахты другого рудника составляла 5400 м³/сутки.

В напорных минерализованных водах преобладает углекислый газ (99—100%), содержание которого, по данным Н. Н. Куликовой (1964), достигало 1283,0 см³/л. Концентрация метана в этих водах незначительная и лишь в отдельных случаях достигала 3—4,0 см³/л. Кро-

ме указанных компонентов, в них находится небольшое количество азота.

Слабоминерализованные воды осадочных пород Балейской депрессии характеризуются значительно меньшим газосодержанием: углекислого газа в них до $1,3 \text{ см}^3/\text{л}$, метана $0,2\text{—}0,3 \text{ см}^3/\text{л}$. Отличительной особенностью этих вод является присутствие сероводорода — до $2,0 \text{ см}^3/\text{л}$.

Значительное количество углекислого газа, метана и водорода было отмечено при бурении скважин в трещиноватых и нарушенных зонах вблизи разрывных нарушений, а также в пористых и хорошо проницаемых разностях озерных песчаников балейской свиты, включающих органическое вещество (общая пористость этих пород в среднем $16,9\%$, проницаемость — 163 мд). Содержание отмеченных газовых компонентов в этих зонах и породах составляло: водорода до $150\text{—}225 \text{ см}^3$, метана — $42,7 \text{ см}^3$ на 1 л промывочной жидкости. Большое количество углекислого газа (до $190 \text{ см}^3/\text{л}$) отмечалось в тех случаях, когда разбуривались нарушенные породы с кварцевыми жилами. Интересно отметить, что иногда при поднятии керна кварцевых жил на поверхность из него с шипением выделялся газ. Это указывает на большую газонасыщенность кварцевых жил. При бурении скважин в монолитных, слабопроницаемых и малопористых породах (ундинские гранитонды и конгломераты) количество указанных компонентов в промывочной жидкости обычно не превышало первых единиц кубических сантиметров на 1 л .

Газосодержание основной массы пород Балейских месторождений невысокое, что объясняется их плохими коллекторскими свойствами — малой пористостью и незначительной проницаемостью. Минимальной общей пористостью обладают изверженные породы — $5,72\%$; пористость пород осадочного комплекса в среднем $9,32\%$ и колеблется в значительных пределах в зависимости от количества глинистого вещества в цементе. В связи с этим все породы обладают ничтожной проницаемостью. Основными путями миграции газов и подземных вод служат разрывные нарушения и трещиноватые зоны, в которых также локализованы газовые скопления. Для всех пород характерно наличие углекислого газа, метана, водорода и азота, однако для разных литологиче-

ских и петрографических разностей характерна неодинаковая концентрация этих компонентов.

В изверженных породах преобладает водород, среднее содержание которого $11,8 \text{ см}^3/\text{кг}$. Углекислый газ также находится в небольших количествах — $5,9 \text{ см}^3$ на 1 кг породы; метан чаще всего отсутствует и лишь в отдельных случаях достигает $3,0 \text{ см}^3$ на 1 кг породы. Лишь в измененных каолинизированных разностях гранитов содержание газовых компонентов было гораздо выше: углекислого газа до $250\text{—}1440 \text{ см}^3/\text{кг}$, водорода $70\text{—}115 \text{ см}^3/\text{кг}$ и метана — $8,8 \text{ см}^3/\text{кг}$.

Конгломераты характеризуются таким же газосодержанием, как граниты. Это объясняется составом обломочного материала, представленного гранитами. Лишь в случае наличия в цементе органического вещества наблюдается увеличение количества метана. Пористые прослойки песчаников, включающие органическое вещество, отличаются повышенным содержанием метана, углекислого газа (до $95 \text{ см}^3/\text{кг}$) и водорода (до $70 \text{ см}^3/\text{кг}$). В ряде случаев водород преобладает над указанными компонентами. В составе газов, извлеченных из рудоносных жил, количество водорода достигает в отдельных случаях $200\text{—}460 \text{ см}^3$ на 1 кг породы, что в десятки и сотни раз превышает его концентрацию во вмещающих породах. В кварцевых жилах отмечено также высокое содержание углекислого газа. Во вмещающих породах на контактах с рудоносными кварцевыми жилами в ряде случаев также отмечается повышенное количество указанных компонентов: углекислого газа $100\text{—}250 \text{ см}^3/\text{кг}$ и водорода — до $200 \text{ см}^3/\text{кг}$. Концентрация редких газов в Балейских месторождениях весьма невелика и близка к воздушному. Лишь в отдельных пробах гранитов оно было несколько повышенным.

Происхождение основных газовых компонентов Балейских золоторудных месторождений, по-видимому, можно представить следующим образом.

Метан, находящийся в осадочных породах, образовался главным образом в результате биохимического превращения и последующего метаморфизма органического вещества. Небольшое количество метана, заключенного в изверженных породах, имеет магматическое происхождение. Как было отмечено выше, удинские граниты являются наиболее древними породами Балей-

ского грабена и ассимиляция ими органического вещества более молодых осадочных пород не происходила. Следовательно, углеводородные газы гранитов сингенетичны им.

Сероводород образовался в восстановительной обстановке Балейского грабена в результате процессов десульфуризации. Наличие небольшого количества сульфидов способствовало его ограниченному распространению.

Происхождение углекислого газа обусловлено магматической деятельностью, с которой было связано и образование рудных тел (Фридман, 1961; Новик-Качан, 1956, 1958 г.). Наличие углекислого газа в ряде пустот кварцевых тел показывает, что он принимал участие и в образовании рудных тел. Выходы его, широко распространенные не только в пределах Балейского грабена, но и в других местах Забайкалья, генетически связаны с последней фазой магматической деятельности. Большое количество углекислого газа связано с возобновлением в четвертичное время магматической активности, которая интенсивно проявлялась северо-восточнее Балейского района (четвертичные базальты в долине р. Дая). Следы ее в Балейском районе не обнаружены на поверхности, по-видимому, магматическая деятельность проявилась в более глубоких горизонтах земной коры. Связь углекислого газа с самыми молодыми проявлениями магматизма, приуроченность его скоплений к зальбандам рудных тел, заполняющих разрывные нарушения, и связанные с ними зоны дробления, обновленные в процессе четвертичного тектогенеза, подтверждают данное предположение.

Водород, по данным Н. Н. Куликовой, преобладает в газах наиболее ранних гидротермальных образований. В образцах послепродуктивного кварца он исчезает, а основную роль в составе газов приобретает углекислый газ. Отсюда следует, что образование водорода в значительной степени связано с ранними более высокотемпературными формами гидротермальной деятельности. Не исключено также, что некоторое количество его обусловлено молодой вулканической деятельностью. Из генерирующих очагов он мигрировал по системам разрывных нарушений, затем скопился в трещиноватых зонах и в отдельных пористых разностях песчаников.

АЛМАЗНЫЕ И ЖЕЛЕЗОРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЯКУТИИ И АНГАРО-ИЛИМСКОГО РАЙОНА

Нефтегазопроявления в вулканических трубках взрыва встречаются довольно часто в Южной Африке, Шотландии и Норвегии и т. д. Детально изучены нефтегазопроявления в сибирских трубках взрыва, где Н. С. Бескровный (1960, 1967) исследовал Нижне-Илимские месторождения железных руд и коренные месторождения алмазов в бассейне р. Вилюй.

Ангаро-Илимский железорудный район находится в южной части Сибирской платформы в бассейне рек Илима — правого притока р. Ангары и Куты — левого притока р. Лены.

В геологическом строении района принимают участие терригенные и карбонатные породы верхнего кембрия, ордовика и нижнего силура, которые залегают почти горизонтально. Ангаро-Илимский район расположен в зоне сочленения Тунгусской позднепалеозойской синеклизы и Ангаро-Ленского раннепалеозойского прогиба. Данная зона характеризуется наличием глубинных разломов, с которыми связаны вулканические трубки с приуроченными к ним месторождениями железных руд, а также многочисленные тела траппов.

Очень пологое, местами почти горизонтальное залегание нижнепалеозойских пород нарушается локальными линейно вытянутыми антиклинальными структурами северо-восточного простирания, не сопровождающимися сопряженными с ними синклиналями. В ядрах складок обнажаются нижне-, средне- и верхнекембрийские породы, имеющие крутое залегание и представленные в основном карбонатными породами с прослоями гипсов, ангидритов, песчаников и глинистых сланцев общей мощностью около 3000 м. Обнажающиеся на крыльях складок песчано-глинистые породы ордовика чаще всего имеют небольшие углы наклона слоев, резко увеличивающихся вблизи разрывов. Кроме описанных структур, отмечаются своеобразные асимметричные синклинали и брахисинклинали, соответственно связанные с образованием даек, траппов и вулканических трубок. Считается, что формирование данных структур связано с компенсационным опусканием осадочных пород вблизи вулканических трубок.

Нефтепроявления были детально изучены на вулканических трубках «Желдон I», «Желдон II», Желдон III», «Иреек-Косвяновская», «Татьянка» и «Пасмурный». Вулканические трубки прорывают осадочные породы кембрия и ордовика. В плане они имеют изометрическую или вытянутую форму и выполнены трапповой брекчией, магнетитовой рудой, туфопесчаниками и туфобрекчиями, в той или иной степени скарнированными. Изверженный материал, выполняющий трубки, под влиянием постмагматических процессов часто превращен в пироксен-кальцитовый и хлорит-кальцит-гранатовый скарн. С этими же процессами связано отложение железных руд в трубках и заполнение трещин в телах трубок железосодержащими минералами. Возраст постмагматической минерализации трубок Ангаро-Илимского района определяется как триас-юрский.

Вопрос об источнике гидротермальных рудоносных растворов остается дискуссионным. Наиболее распространенной является гипотеза о связи магнетитовой минерализации трапповых трубок с основной магмой (Н. В. Павлов, 1961 г.).

В процессе разведки железорудных месторождений района были обнаружены многочисленные проявления твердых, вязких и жидких битумов в изверженных породах. Н. С. Бескровным (1960) детально описаны жидкие, реже твердые битумы в трапповой брекчии, туфобрекчии, диабазе и хлорит-кальцит-гранатовой туфобрекчии. Скопления битумов приурочены в основном к трещинам, кавернам и пустотам пород, выполняющих трубки. Наблюдаются скопления битума в линзах и порках кальцита, а также по зальбандам кальцитовых жил. Встречаются также трещинки с битумом и пиритом, но без кальцита. Обычно в трещинках битумы находятся вместе с пиритом, коричневым и иногда черным кальцитом. По мнению Н. С. Бескровного, нефть поступала в кальцитовые жилы как во время отложения кальцита, так и после. Жидкие битумы отлагались в трещинах пород на глубине, а твердые окисленные битумы — вблизи поверхности.

Проведенные в лаборатории ВНИГРИ химические анализы битумов, отобранных из трубок Ангаро-Илимского района, показали, что они представлены всеми разностями — от тяжелой нефти до асфальта. Элемен-

тарный состав битумов следующий (%): С 77,93—87,69; Н 9,52—11,88; S 0,11—1,35; N + O 0,23—11,87. В них содержатся масла (12,15—17,63%), бензольные смолы (4,75—13,37%), асфальтены (4,30—56,30%). Специальных исследований газоносности железорудных месторождений не проводилось, имеются лишь отдельные краткие сообщения.

По данным И. Н. Фокина (1952 г.), из пробы воды, отобранной из скважины, пробуренной на трубке «Желдон III», с глубины 150—160 м, был извлечен газ, содержащий 48,83% водорода, 49,04% азота и 2,13% кислотных газов.

Ю. И. Пиковский (1963 г.) сообщает о выделении газа из скважины, бурившейся в одной из трубок этого же района. Газ имел следующий состав: кислотные газы — 1,66%, водород — 38,15% и азот — 59,69%.

И. В. Павлов (1961 г.) приводит данные о наличии значительных количеств водорода (до 34,6%) в замкнутых порах магнетитовых руд месторождения Камышевский Байкитик, расположенного в бассейне р. Подкаменная Тунгусска, западнее описываемого района.

И. С. Бескровный отмечает, что газонефтепроявления в южной части Сибирской платформы встречаются от верхов нижнего кембрия до его низов, а также в подстилающих породах синния. В связи с этим трудно связать нефтегазопроявления с каким-либо одним горизонтом или свитой. Это позволило И. С. Бескровному и И. А. Кудрявцеву сделать вывод о генетической связи битумов и газов трубок взрыва Ангаро-Илимского района и вмещающих их пород с постмагматической гидротермальной деятельностью.

Алмазные месторождения Якутии. И. С. Бескровный (1960) и К. К. Макаров (1960) изучили газо- и нефтепроявления трубок «Зарница» и «Удачная» (Далдынский район) и трубки «Мир» (Мало-Батуобинский район).

Далдынский район сложен в основном карбонатными породами верхнего кембрия и ордовика. Севернее обнажаются более древние отложения, вплоть до кристаллических пород фундамента. Юго-западнее района развиты более молодые породы силура, песчаники перми и изверженные породы пермо-триаса.

Район расположен в зоне сопряжения Анабарской антеклизы и Тунгусской синеклизы, в пределах вытянутого меридионально Верхнесилгир-Далдынского грабеннообразного прогиба в архейском кристаллическом фундаменте. Дизъюнктивные нарушения здесь имеют в основном северо-западное и северо-северо-восточное направления.

Кимберлиты Далдынского района образуют своеобразные трубчатые тела. В районе открыто несколько десятков кимберлитовых трубок.

Трубка «Удачная» прослежена скважинами до глубины 639 м. Западная часть трубки сложена кимберлитовой брекчией, восточная — базальтоидным кимберлитом. У дневной поверхности трубка «Удачная» прорывает карбонатные породы верхних горизонтов верхнего кембрия, обогащенных нефтью (Макаров, 1960).

Трубка «Зарница» в плане имеет правильную изометрическую форму. На контакте карбонатных пород нижнего ордовика и кимберлитового тела имеется зона дробления, в которой доломиты раздроблены иногда до мелкой щебенки. По трещинам доломитов развиты магнетитовые и кальцитовые прожилки, а по плоскостям скольжения — ожелезнение и серпентинизация. Отмечаются многочисленные мелкие сбросы, идущие параллельно контакту. Зона дробления в осадочных породах имеет мощность 10 м. В кимберлитах ширина зоны дробления достигает 2—5 м и сопровождается сильной карбонатизацией и ожелезнением пород. В трубках встречаются ксенолиты известняков, доломитов и аргиллитов от долей миллиметра до 1,5 м в поперечнике. Ксенолиты известняков содержат остатки брахиопод, кораллов, гастропод, трилобитов и т. д. кембрийского, ордовикского и силурийского возраста. Встречены также ксенолиты архейских пород и эклогиты.

В процессе разведки и эксплуатации кимберлитовых трубок «Удачная» и «Зарница» были обнаружены интенсивные выделения горючих и негорючих газов, жидкая нефть, твердый и вязкий асфальт.

Первые сведения о наличии газопроявлений в алмазных трубках содержались в отчете Л. А. Попугаевой, В. Н. Щукина и др. в 1956 г., которые отмечали, что в трубках «Зарница» и «Удачная» наблюдаются обильные выделения горючих газов, послужившие причиной взры-

вов в глубоких шурфах. Выделение газов происходило иногда со слабым шумом и напором. Интенсивность газопроявлений не снижалась до закрытия шурфов (в течение месяца). В некоторых шурфах трубки «Зарница»

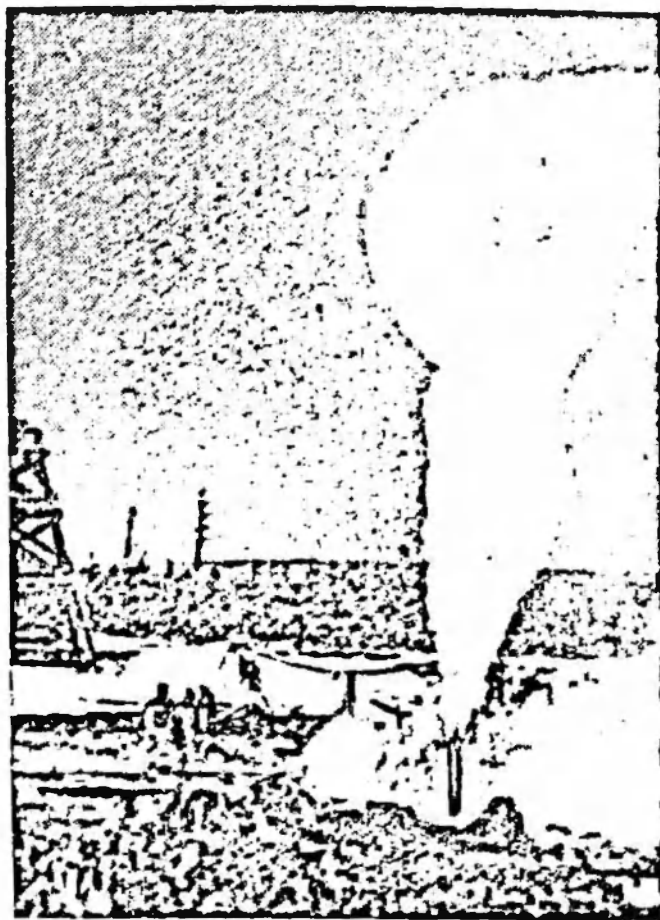


Рис. 13. Выброс газов из скважины алмазосной трубки «Удачная» (по А. И. Кравцову).

выделялись и негорючие газы, в основном азотные. В составе последних были установлены редкие газы: $He + Ne — 0,033\%$, $Ar + Kr + Xe — 1,1739\%$ (Бескровный, 1960). Наиболее интенсивные газовыделения, по данным К. К. Макарова (1960), имели место в скважине, пробуренной в восточной части трубки «Удачная» (рис. 13). При бурении этой скважины в кимберлитах с глубины 367,9 м ударил сильный фонтан газа, горевшего несколько дней. Фонтанирование газа продолжа-

лось пять суток, затем фонтан газа был задавлен. Анализ газа, проведенный в лаборатории нефти и газа Якутского филиала АН СССР А. И. Косолаповым, дал следующий результат (в %): H_2 — 53,4; CH_4 + высшие углеводороды — 37,2; N_2 — 9,1; непредельные углеводороды — 0,25; CO_2 — 0,05; He — 0,0049; Ar — 0,0143; O_2 — 1,05. Разгонка тяжелой углеводородной фракции пробы, отобранной в начале газирования, показала присутствие (в %): C_2H_6 — 2,534; C_3H_8 — 0,899; C_4H_{10} — 0,246; C_5H_{12} + высшие — 0,024.

Через сутки состав газа изменился в сторону снижения содержания водорода и увеличения концентрации углеводородов, азота и углекислого газа в (%) ¹: проба № 1: H_2 — 39,90, CO_2 — 0,55, O_2 — 3,05; непредельные углеводороды — 3,65, N_2 — 25,90; предельные углеводороды — 30; проба № 2: H_2 — 15,5; предельные углеводороды — 16,60; непредельные углеводороды — 1,30, N_2 — 66,50, CO_2 — 0,1, O_2 — 9,65. Уменьшение содержания водорода, по-видимому, связано с тем, что он, как наиболее легкий и подвижный газовый компонент, выделяется в первую очередь в начальный момент газирования.

Газ выделялся из скважины вместе с водой хлоридно-натриевого типа. В трещинах керна кимберлита на глубине 138,70—141,20 м в скважине была отмечена также жидкая нефть.

Многочисленные битумопроявления были обнаружены как непосредственно в алмазных трубках, так и во вмещающих их породах. Согласно данным Н. С. Бескровного, нефть и асфальт вместе с коричневым кальцитом и пиритом выполняют трещины и пустоты в брекчиевидной и базальтоидной разновидностях кимберлита трубки «Удачная». Кроме того, битум заполняет пространство между отдельными трещинками и гранями кальцита. Твердый битум был обнаружен также в шурфах на трубке «Зарница». Значительные проявления битумов (озокерита, нефти и асфальта) были обнаружены в горных выработках и скважинах кимберлитовой трубки

¹ Анализы производились в лаборатории горноспасательных частей Восточной Сибири.

«Мир»; газопроявления в самой трубке в период ее разведки не наблюдались.

Кимберлитовая трубка «Мир» расположена в области относительно приподнятого залегания нижнего палеозоя на борту Тунгусской синеклизы и Тунгусско-Виллюйского мезозойского прогиба. Она прорывает на поверхности известняки, мергели и известковистые песчаники нижнего ордовика. Трубка в плане имеет форму неправильного овала, вытянутого с северо-запада на юго-восток. Трещины в кимберлите шириной до 3 см выполнены твердым озокеритом оранжевого, желтого, светлого и темного цвета. Вместе с озокеритом встречаются рассеянные кристаллы пирита, кварц и отложившийся после него крупнозернистый кальцит, кроме того, часто отмечаются обильные примазки гидроокислов железа.

Жидкая нефть нацело и частично выполняет полости объемом до $6 \times 10 \times 4 \text{ см}^3$ и подходящие к ним трещины. В полостях она находится вместе с кварцем, пиритом и галенитом. В полостях кимберлитов иногда находятся пустотелые кварцевые конкреции шаровидной формы, содержащие полужидкую нефть. Основное количество проявлений жидкой нефти с кварцем и озокеритом сосредоточено в северо-восточной половине трубки. Вязкий и твердый асфальт развит по всей трубке. Жидкая нефть и твердые битумы содержатся в трещинах кимберлитов по всей площади трубки и были прослежены до глубины 500 м. Они встречены также в карбонатных породах кембрия и нижнего ордовика, прорываемых трубкой «Мир», причем в ряде случаев осадочные породы очень интенсивно пропитаны нефтью. Так, один образец песчаника содержал 4% нефтяного битума, а образцы известняка из верхнего кембрия — до 6—10% битума. Данные химических анализов битумов из кимберлитов и осадочных пород, проведенные в лаборатории ВНИГРИ под руководством В. А. Успенского, показывают, что нефть в них относится к одному и тому же генетическому типу, а озокерит сильно отличается по составу от нефти (Бескровный, 1960).

Относительно происхождения горючих газов в алмазных трубках до сих пор нет единого мнения. Н. А. Кудрявцев (1959), Н. С. Бескровный (1960), К. К. Макаров (1960) и некоторые другие исследователи считают, что

углеводородные газы и битумы генетически не связаны с органическим веществом осадочных пород и являются продуктом постмагматической деятельности. Согласно их предположению, в гидротермальную стадию при определенных давлениях и температурах происходил синтез углеводородных газов и битумов.

Однако данное положение, по нашему мнению, является весьма гипотетичным. По всей вероятности, основное количество битумов и углеводородных газов, содержащихся в месторождениях алмазов, имеют биогенное происхождение. В карбонатных породах нижнего палеозоя Сибирской платформы содержится довольно значительное количество органического вещества (Антипов, 1957). Из измененных осадочных пород, вмещающих кимберлитовые трубки, гидротермальные растворы выносили органическое вещество, которое затем выпадало в трещинах и сообщающихся пустотах вместе с гидротермальными минералами — кварцем, кальцитом и сульфидами.

Одновременно с жидкими битумами вместе с растворами в алмазоносные трубки попадали и горючие газы. Значительное количество их могло образоваться в результате термального метаморфизма органического вещества вмещающих осадочных пород вследствие интенсивного температурного воздействия со стороны трапповых и кимберлитовых трубок, а также постмагматических растворов. Об этом, в частности, свидетельствует наличие в составе природных газов таких газовых компонентов, как водород, окись углерода и непредельные углеводороды. По всей вероятности, этим в значительной степени можно объяснить тот факт, что вблизи контакта с трубками, а также в ксенолитах органического вещества в осадочных породах очень мало, а на некотором удалении от трубок содержание его возрастает. К. К. Макаров (1960) указывает на наличие нефтепроявлений в верхнекембрийских породах, распространенных севернее, в бассейне р. Силигир, где кимберлитовые трубки взрыва не обнаружены.

Значительное количество органического вещества и связанных с ним горючих газов во вмещающих кимберлитовых трубках осадочных породах позволило В. Г. Васильеву, В. В. Ковальскому и Н. В. Черкесскому (1962) высказать интересную гипотезу об органическом проис-

хождении алмазов. Они предполагают связь богатых алмазами кимберлитовых трубок с нефтегазоносными структурами, где имеется обилие углерода.

Не исключено также, что определенные количества водорода, окиси и двуокиси углерода и, возможно, углеводородных газов имеют неорганическое происхождение. Особенно это относится к газам, заключенным в замкнутых порах и трещинках кимберлитов.

ЗАРУБЕЖНЫЕ РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Западная Европа

Газо- и битумопроявления были отмечены в железорудных и полиметаллических месторождениях Скандинавских стран, Англии, Германской Демократической Республике и других местах.

Месторождения железных руд Даннемора расположены на восточной окраине рудного района Средней Швеции и залегают в верхнем архее, сложенном различными гнейсами, которым подчинены известняки и доломиты, достигающие здесь значительной мощности. Месторождения относятся к группе скарновых и представлены магнетитом со значительным содержанием марганца. Скарн состоит из роговой обманки и кальцита, иногда с гранатом и эпидотом. В южной части района месторождений находится жилоподобное тело вкрапленных сульфидных руд, главным образом пирита и сфалерита. Породы пересечены жилами пегматита и диорита, которые относятся к архею. При бурении скважины в пределах месторождений было отмечено присутствие асфальта и продолжительное выделение углеводородных газов (Богданович, 1912 г.).

Состав газа из пройденной по скарну скважины рудника Сьогрува (горизонт 300 м) следующий (в %): CH_4 — 70,0; C_2H_6 и более тяжелые углеводороды — 1,2; H_2 — 0,4; CO — 0,8; CO_2 — 1,2; O_2 — 1,8; N_2 — 19,7. Элементарный состав битумов, пересчитанный на беззольное вещество (в %): H — 9,69; C — 83,24; O — 7,06; N — следы; S — 0,01 (Кудрявцев, 1959). Твердые и жидкие битумы отмечались в основном в кальцитовых жилах.

Жидкие и твердые битумы были отмечены также в железорудных месторождениях Гренгесберг и Моссгрюван.

Месторождение Гренгсберг представлено линзообразными залежами гематита и отчасти магнетита. Руды относятся к типу апатитовых с большим содержанием фосфора. Месторождение считается сингенетичным вмещающим его архейским гранулитам. Оно инъекционное, впоследствии подвергнутое термометаморфизму.

В пегматитовых жилах, пересекающих месторождение, внутри кристаллов полевого шпата и кварца обнаружены капли горной смолы — асфальта или асфальтита низкой стадии метаморфизма. Элементарный состав смолы, пересчитанный на беззольное вещество (в %): Н — 8,72; С — 80,16; О — 11,11; N — следы; S — 0,01.

Железорудное месторождение Моссгрюван представлено гематитом с 60% металлического железа. Рудные тела, залегающие в гранулитах и слюдистых сланцах, имеют почти вертикальное падение. В западной части месторождения находятся линзы известняков и доломитов. Этот интенсивно метаморфизованный комплекс пород прорван массивом гранитов. Месторождение принадлежит к группе первоначально контактовых месторождений среди кристаллических сланцев, сопутствующих скарном и приуроченных к линзам кристаллических известняков. Асфальтит содержится в руде в виде тонких пластинок или включений. Элементарный состав асфальтитов (в % на беззольное вещество): Н 7—8,43; С 86,93 — 80,90; О 4,42 — 11,77; N — следы; S — 0,02.

Месторождение мышьяка и сульфидных руд Болиден находится в северной части Швеции в районе, сложном разнообразными эффузивами архейского возраста, их туфами, агломератами и налегающими на эффузивную серию филлитами и граувакками, составляющими вместе порфир-лептитовую формацию. Вблизи месторождения развиты граниты архея, которые моложе вышеотмеченных пород. Оруденению предшествовало изменение вмещающих пород гидротермальными растворами, которые превратили эффузивные породы в серицитовые сланцы, местами замещающиеся андалузитовой породой.

Газовыделения были обнаружены во многих скважинах, бурившихся на горизонтах 400 и 570 м рудника, а также при пересечении некоторых трещин штреками в лежащем боку рудного тела. Скважинами вскрыты серицитовые сланцы с андалузитовой породой, нередко включающей тухолит в таких больших количествах, что

содержание урана достигало 600 г/т. Газопроявления приурочены к зонам раздробленных пород и появляются при пересечении их скважинами. В литературе (Powell, 1932) приводится состав выделяющегося газа (в %): CH_4 59,67—68,8; C_2H_6 и более тяжелые газообразные гомологи — до 0,3; H_2 0,0—1,0; CO 0,1—1,1; CO_2 0,8—4,4; N_2 —22,9—36,6 и He 2,3—5,4. Газ имеет сильный очень неприятный запах, в одной из проб обнаружен сероводород. Дебит газа незначительный. Высокое содержание гелия в нем обусловлено распадом радиоактивных элементов, находящихся в тухолите.

Образование углеводородных газов, по мнению некоторых исследователей (Grip, Ödman, 1944), связано с органическим веществом мощной серии метаморфических сланцев, содержащих графит. Однако не менее убедительным является предположение Н. А. Кудрявцева (1959), что углеводородные газы и гидротермальные растворы имеют общее происхождение.

Значительное количество углеводородных газов было установлено в цинковом руднике Эммсберг, расположенном в южной части рудного района Средней Швеции. Район сложен глубокометаморфизованными докембрийскими эффузивными и осадочными породами, включающими мощные толщи известняков. Газ был отмечен при бурении скважины на горизонте 200 м в лептитях и цинковой руде и сопровождался интенсивным притоком воды с запахом сероводорода. Состав газа (в %): CH_4 —51; C_2H_4 —0,5; H_2 —1,0; CO —1,2; CO_2 —1,5; N_2 —44,8.

Выделения углеводородных газов (состав не приводится) были отмечены в апатитовых рудниках Норвегии (Эдергард, недалеко от Осло). Район месторождения сложен архейскими гнейсами с крупными интрузиями нефелиновых сиенитов. (Более полная сводка битумопроявлений на Скандинавском кристаллическом щите в пределах Швеции и Норвегии приведена в работе Н. А. Кудрявцева, 1959 г.)

Во Франции многочисленные газопроявления, связанные с изверженными и метаморфическими породами, отмечались в пределах Центрального кристаллического массива. Следы битумов обнаружены в полиметаллических жилах и гнейсах вблизи Понживана.

в Германской Демократической Республике углеводородные газы и битумы были установлены в ряде рудных месторождений — Альтенберг (Саксония), Виоленберг (Грац) и т. д. В Палатинате газы и битумы находятся в ассоциации с киноварью.

В Венгрии в медных месторождениях в биотито-амфиболитовых андезитах обнаружены капли нефти, приуроченные к небольшим полостям.

Интенсивные выделения углеводородных газов, явившихся причиной неоднократных взрывов и вспышек, сопровождавшихся гибелью людей, имели место в рудниках Кливлендского железорудного месторождения (Англия). Рудное тело здесь представляет собой пологопадающую пластообразную залежь мощностью от 1,5 до 3,5 м и общей площадью около 150 км². Оно расположено в 20-метровой пачке осадочных пород нижней юры (средний лейас). В кровле рудного тела залегают битуминозные сланцы мощностью от 9 до 18 м, характеризующиеся обилием остатков аммонитов, содержащих жидкую нефть. В подошве рудной залежи залегают осадочные породы нижней юры с большим количеством органических остатков. Вмещающие породы и явились источником поступающих в горные выработки горючих газов, состоящих из смеси метана, водорода и тяжелых газообразных гомологов метана, в основном пропана (до 9,5%) и бутана (до 8,5%). Масс-спектрометрическим методом в составе газов были установлены пентаи, гексаи, а также циклические углеводороды. На тесную связь газопроявлений с битуминозными сланцами указывает тот факт, что на участках, где они отсутствовали, газовыделений не наблюдалось.

Америка

В большей части разрабатываемых месторождений золота, серебра, свинца, цинка и других рудных полезных ископаемых, расположенных в архейских породах Канадского щита, были отмечены углеводородные газы.

В районе Садбьюри, на Серебряном островке, у северо-западного берега оз. Верхнего в руднике, разрабатывающем полиметаллические жилы, содержащие серебро, медь и цинк, наблюдались выделения углеводо-

родных газов. В 1876 г. здесь произошел взрыв газов (Кудрявцев, 1959).

Довольно интенсивные выделения горючих газов отмечаются в большей части полиметаллических рудников Онтарио. Главная составная часть газов — метан. Согласно сообщению Канадского горного бюро, «метан встречается практически во всех рудниках, особенно там, где породные формации состоят в значительной степени из карбонатных материалов... Едва ли обошлось без одного или нескольких воспламенений и взрывов метана в каждом из рудников, разрабатывающих месторождения золота, серебра, меди, свинца, цинка, известняков и других металлических и неметаллических полезных ископаемых» (Tigert, 1951).

Наиболее типичным по характеру газопроявлений в этом районе является золоторудное месторождение, разрабатываемое рудником Сентрал-Патриция. Докембрийские породы здесь представлены диабазами, кварцевыми порфиритами, кварцитами, туфами и осадочными образованиями. Месторождение осложнено многочисленными сбросами и сбросо-сдвигами, которые сопровождаются большим числом трещин. Разрабатываемые золотосодержащие жилы пирита и арсенопирита залегают в кристаллических породах архея. За период с 1941 по 1950 г. зарегистрировано 135 случаев взрывов и вспышек горючих газов. Некоторые газовыделения были настолько интенсивными, что потребовали полной остановки горных работ (Tigert, 1951). Наиболее многочисленные и интенсивные выделения их имеют место при вскрытии сбросов, сдвигов и оперяющих их трещин.

В ряде случаев горючие газы в гидротермальных золотоносных кварцевых жилах тесно связаны с высокоминерализованными хлоридными водами, а иногда и с жилами галита (рудники Андезия и Северный Эмпайр, расположенные в 160—170 км от гавани Порт-Артур на оз. Верхнем). Происхождение углеводородных газов вместе с твердыми, реже жидкими битумами здесь не вполне ясно. С. Пауэрс (Powers, 1932), Ф. М. Ван-Тайл и Б. Г. Паркер (Van Taul, Parker, 1941), по-видимому, справедливо считают, что горючие газы и битумы связаны с осадочными образованиями: граувакками, шиферными сланцами, конгломератами и известняками нижнего архея.

Н. Г. Кудрявцев (1959) предполагает, что углеводородные газы и битумы не могли содержаться в глубоко метаморфизованных докембрийских породах в течение столь длительного времени и, следовательно, имеют глубинное, абиогенное происхождение. Он считает, что накопление их в трещиноватых зонах происходит в настоящее время благодаря миграции по крупным разломам. Однако для такого суждения, по нашему мнению, нет оснований, так как в практически непроницаемых метаморфических породах газовые скопления в трещиноватых зонах могли сохраниться.

Месторождение цинка Эдвардс, расположенное вблизи города Эдвардс, севернее Нью-Йорка (Brown and Kew, 1932), приурочено к докембрийским образованиям — метаморфизованным осадочным и интрузивным породам. Интрузивные породы представлены габбро, сненитами и гранитами, метаморфизованные осадочные породы — в основном мраморизованными и окварцованными известняками и гнейсами. В последних содержатся кварциты и биотит-полевошпато-пироксеновые породы. В гнейсах и известняках присутствует графит. Цинковые руды находятся в известняках, интенсивно измененных под действием гидротермальных растворов. Рудные тела представлены отдельными линзами, ограниченными по простиранию. Месторождение сильно разбито крутопадающими разрывными нарушениями и многочисленными трещинами.

Углеводородные газы связаны в основном с рудовмещающими известняками. Газовыделения из шпуров и разведочных скважин имели место на горизонте 500 м (на 270 м ниже уровня моря) и продолжались от нескольких дней до нескольких месяцев. В ряде случаев газ находился под большим давлением. Состав выделяющегося газа (в %): CH_4 — 59,1; C_2H_6 — 0,7; H_2 — 0,6; O_2 — 0,2; N_2 — 79,4.

Интенсивные выделения больших количеств углеводородных газов, главным образом метана, приводившие к взрывам и несчастным случаям, имели место, в частности, в золото-серебряных рудниках округа Джинлин, Колорадо и в медно-серебряно-цинковых рудниках Батте, Монтана, где оруденение было приурочено к изверженным породам (Harrington, Denny, 1931).

В медных рудниках севернее Мичигана в песчанниках вблизи сбросов были обнаружены твердые битумы, которые находились внутри хлористой меди. Химический состав битумов (в %): летучие — 2,4; С — 64,8; зóлы — 33,3; летучие содержат до 5,35% водорода.

Многочисленные находки битумов отмечались в ртутных месторождениях Калифорнии. В частности, в рудах, залегающих среди метаморфических сланцев на руднике Патриквин, в трещинах и полостях серпентинитов, метаморфических пород (франсисканская серия) и руд месторождений Санта-Инес и Нью-Альманден, была обнаружена тяжелая нефть. В ртутных рудниках Нью-Альманден и Нью-Идрия в породах франсисканской серии наблюдались выделения углеводородных газов.

Битумы издавна известны в ртутных месторождениях Перу. В ртутном месторождении Хуанкавелика в киноварной руде одновременно с пиритом, арсенопиритом, реальгаром, кальцитом, кварцем и баритом присутствуют твердые битумы (Быховер, 1961).

Африка

Значительное количество природных газов было обнаружено в урановых и золоторудных месторождениях ЮАР. Залежи золота и урана в ассоциации с сульфидами и тухолитом приурочены к регионально-метаморфизованным породам системы Витватерсранд, относимой к архею. Золото и уран находятся в конгломератах, приуроченных в основном к верхнему отделу системы. В цементе конгломератов присутствуют золото, уранинит, пирит, тухолит, пирротин, халькопирит, галенит, сфалерит, реже кобальтин, пентландит, миллерит, кальцит и турмалин. Метаморфические породы системы Витватерсранд перекрыты осадочными образованиями системы Карру (С₃—Т₃), в которую входит углесодержащая серия Экка.

Горючие газы встречаются почти во всех рудниках, разрабатывающих золото и уран, в таких количествах, что представляют серьезную помеху при добыче руд, особенно на рудниках Трансвааля и Оранжевой республики. Выделение газов в рудниках происходит внезапно, в течение короткого времени и четко приурочено к разрывным нарушениям и участкам повышенной трещиноватости пород.

В руднике Кроун при бурении шпура в кварцитах Витватерсранд на глубине 1426 м от искры произошел взрыв, после которого газ горел 4 суток, выделение его продолжалось длительное время. Газ имел следующий состав (в %): H_2 —77,5; CH_4 —11; CO_2 —0,1; O_2 —0,3; N_2 + редкие — 11,1.

В горизонтальной выработке рудника Робинзон-Дип при проходке в кварцитах на глубине 1621 м произошел взрыв газа. Впоследствии газ был подожжен. В нем преобладал метан — 55,2%; содержание водорода достигало 15,2% (Müller, 1928).

В шахте № 4 рудника Сити-Дан газ был обнаружен на глубине 2192 м. Он выделялся не менее двух месяцев из подошвы выработки у сброса. В его составе были определены водород (24%) и метан (5%).

Несколько лет назад появились сведения о весьма интенсивных газовыделениях в рудниках Одендаалсрюста (ЮАР). Рудное поле здесь приурочено к грабену в верхневитватерсрандских породах. Он ограничен на востоке и западе сбросами. В руднике Святая Елена был зарегистрирован 191 случай внезапных выделений горючих газов из трещин в горные выработки. Выделение газа происходило так интенсивно, что для его за-давливания в трещиноватых зонах приходилось бурить скважины и нагнетать цемент. Вместе с исходящей струей из этого рудника в атмосферу ежедневно выбрасывалось 36 700 м³ метана (Jackson, 1958).

С. Бови (Bowie, 1958) наблюдал выходы газа из трещин вблизи сбросов. В составе выделяющегося газа были обнаружены (в %): CH_4 —78,4; H_2 —0,1; He—8,0; Ar—0,3; CO—0,2; CO_2 —0,8; N_2 —12,1; O_2 —0,1. Высокое содержание гелия, по мнению С. Бови, указывает на наличие его здесь в промышленных количествах. П. Хьюго исследовал (Hugo, 1963) 10 золотых рудников Одендаалсрюста, в которых выделяющиеся газы имели следующий состав (в %): CH_4 66,30—91,10; He 0,1—13,8; N_2 7,7—27,39; Ar 0,3—1,0; CO_2 0,01—0,2. В 14 анализах присутствовал CO (0,05—0,2%), в 4 анализах — H_2 (0,03—0,1%) и в 4 анализах — C_2H_6 и C_2H_4 (0,05%)¹.

Во всех случаях газы находились вместе с сильно

¹ Всего было произведено 84 масс-спектрометрических и химических анализа.

минерализованными водами в сбросах и связанных с ними зонами дробления и повышенной трещиноватости пород. Дебиты газов, выделяющихся в скважинах, достигали больших величин (до 1834 м³/сутки) и мало изменялись в течение длительного времени (3 года). Состав газов со временем несколько меняется: содержание метана уменьшается, а концентрация гелия и азота несколько увеличивается. Однако это увеличение относительное, так как вызвано уменьшением содержания метана.

Подсчеты показали (Нуго, 1963), что за 1 год в районе Одендаалсрюста из скважины поступает около 400 000 м³ гелия, а с исходящей струей воздуха из рудников — 26 772 000 м³. Годовое количество метана, выделяющегося из скважины и рудников данного района, составляет 543 млн. м³.

Кроме углеводородных газов на месторождениях были обнаружены асфальт и другие битумы. Твердый битум, отобранный из кварцевой жилы золотого рудника Нью-Праймроз, при нагревании плавился, вспыхивал и начинал кипеть. Удельный вес его 1,17, твердость — между 2 и 3; содержание золы — 0,38%, влаги — 0,23%, летучих — 71,40%; С — 86,14%.

Довольно интенсивные газопроявления были отмечены в алмазонасных кимберлитовых трубках поздне-мелового и, возможно, палеогенового возраста. Кимберлитовые трубки прорывают метаморфические и изверженные породы докембрия (кварциты, диабазы, нориты и граниты), а на поверхности — нормальные осадочные породы свиты Двайка (С₃), относящиеся к системе Карру. Последняя играет большую роль в геологическом строении Южной Африки и представлена мощной (до 6000 м) толщей континентальных отложений, содержащих остатки животных и растений. В этих отложениях имеются пласты угля.

Выделение углеводородных газов на руднике Булфонтейн было установлено на глубине 305 м, ниже почвы осадочных пород свиты Двайка. Газ выделялся из небольшой трещины в кимберлитах в течение многих лет.

На руднике Кимберлей на контакте между стенками трубки и «голубой землей» (кимберлитовая порода, измененная гидротермальными растворами и в меньшей степени поверхностными водами) были обнаружены

«карманы» или полости с углеводородными газами. Стенки полостей обычно покрыты кристаллами кальцита. Скопления углеводородных газов были встречены не только на контакте со сланцами свиты Двайка, но и с залегающими ниже докембрийскими долеритами. Кроме газов, в руднике Кимберлей были отмечены нефтяные битумы. В частности, из «голубой земли» были экстрагированы ароматические углеводороды.

Большинство исследователей вполне обоснованно, на наш взгляд, считают, что основным источником углеводородных газов, находящихся в золотых, урановых и алмазоносных месторождениях Южной Африки, является органическое (в основном углистое) вещество, находящееся в осадочных породах системы Карру, в частности свиты Двайка (Watermeyer, Hoffenberg, 1932 г., Davidson, Bowie, 1951 и др.).

В породы докембрийской формации и кимберлитовые алмазоносные трубки углеводородные газы попадают вместе с растворяющими их водами при миграции вниз по сбросам и системам сообщающихся трещин. Некоторое количество горючих газов могло образоваться и в результате ассимиляции угленосных пород кимберлитовой магмой. Это, в частности, подтверждается наличием в кимберлитовых трубках, прорывающих осадочные породы Карру, значительных количеств органических соединений. В образце кимберлита, отобранного из дайки, секущей осадочные породы системы Карру, содержалось 2,04% органического вещества (Williams, 1932). По-видимому, значительное количество водорода и, возможно, тяжелых углеводородных газов в золотых и урановых рудниках имеет радиогенное происхождение. Распадом радиоактивных элементов докембрийских пород обусловлено и высокое содержание гелия в природных газах описанных месторождений.

Австралия

В литературе имеются весьма скудные данные о газопроявлениях в рудных месторождениях, изверженных и метаморфических породах Австралии. Выделения углеводородных газов были отмечены на медном руднике Лобб-Холл. Рудные тела здесь расположены в метаморфических породах силурийского возраста. Выделяю-

щиеся газы состояли (в %) из: CO_2 — 5,0; CH_4 — 40,33; O_2 — 0,5; N_2 — 54,17 (Woolpough, 1934).

В районе Кальгурли, известном своими месторождениями золота, горючие газы были обнаружены в глубоких рудниках, пройденных в зеленокаменных и кристаллических сланцах докембрия, среди которых залегают линзы графитизированных сланцев. К ним и приурочены наиболее интенсивные газопроявления. Газы могут быть отнесены к азотно-углеводородным: углекислый газ 0,28—0,33%; кислород 5,36—7,70%; метан 42,50—56,50%; азот 37,86—49,47% (Woolpough, 1934).

Кроме упомянутых газопроявлений, наблюдались выделения горючих газов из разведочных скважин при бурении в гранитах и метаморфических докембрийских породах Южной Австралии. В газах превалировал водород, содержание которого достигало 76%, присутствовали метан (7,5%), углекислый газ (0,8%) и азот (до 30,8%).

ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ОБРАЗОВАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ

Состав и распределение природных газов ряда месторождений полезных ископаемых свидетельствуют о том, что современная газоносность обусловлена двумя основными причинами: процессами газообразования, обусловившими первичную (начальную) газоносность, и условиями дегазации. Соотношение этих двух причин создает общую картину распределения природных газов в настоящее время.

На современное распределение природных газов оказывают влияние следующие основные геологические факторы.

1. Особенности развития отдельных районов или месторождений, определившие условия газообразования, с одной стороны, продолжительность и особенности дегазации — с другой. На различных этапах геологической истории месторождения условия дегазации претерпевали большие изменения, что благоприятствовало процессам газового выветривания или, наоборот, почти полностью прекращало их. Несомненно, в течение длительного времени, прошедшего с момента образования месторожде-

ний, происходили неоднократные значительные колебания состава и содержания природных газов.

2. Тектоническое строение отдельных месторождений и окружающих регионов.

3. Гидрогеологические условия. В зависимости от геологического строения месторождений подземные воды могут приносить природные газы в рудные тела и вмещающие породы или, наоборот, выносить их оттуда. Кроме того, важное значение имеет химический состав подземных вод.

4. Литологические особенности, петрографический состав и коллекторские свойства вмещающих и покрывающих пород (пористость и газопроницаемость).

5. Геоморфологические условия, определяющие степень дегазации месторождений.

Образование и накопление природных газов в рудных месторождениях происходило по-разному.

В месторождениях, расположенных в области молодого магматизма и тектогенеза (молодые и подвижные зоны геосинклиналей и платформ), т. е. в мобильных участках земной коры, существуют благоприятные условия для быстрой миграции значительных количеств природных газов по глубоким разломам из генерирующих магматических очагов. Основные газовые компоненты в составе природных газов здесь — углекислый газ и в ряде случаев водород, которые являются продуктами магматической и гидротермальной деятельности. Углеводородные газы содержатся в небольших количествах, часто их вообще нет. Это обусловлено отсутствием мощной толщи осадочных пород с органическим веществом, которые служат основным источником метана и более тяжелых газообразных углеводородов.

Водород характеризует высокотемпературную обстановку, существующую в недрах, и обычно встречается там, где на сравнительно небольшой глубине от поверхности расположены расплавленные магматические очаги. Углекислый газ характерен для низкотемпературной постмагматической деятельности. Однако в природных условиях углекислый газ и водород в ряде случаев присутствуют вместе. Это может свидетельствовать о миграции их с разных глубин, характеризующихся различной термодинамической обстановкой. Такие условия, в частности, имеют место на Худесском медноколчедан-

ном месторождении, которое расположено в мобильной зоне Кавказа вблизи четвертичного вулкана горы Эльбрус, и Балейских золоторудных месторождениях, находящихся в мобильной зоне Восточного Забайкалья, где магматическая и тектоническая деятельность проявлялись также в четвертичное время.

Несколько иные условия образования основных количеств природных газов на ртутных месторождениях Северо-Западного Кавказа. Они расположены в достаточно мобильной зоне, где интенсивные тектонические движения происходили еще в палеогене, а неотектонические подвижки и землетрясения имеют место и в настоящее время (краевые подвижные зоны синклиналей). В районе известны проявления молодой магматической деятельности. Ртутное оруденение связано с низкотемпературными гидротермальными растворами, источники которых, по-видимому, находятся на значительной глубине.

В газах ртутных месторождений преобладают метан, генетически связанный с органическим веществом мощной толщи осадочных пород, и углекислый газ — продукт постмагматической и гидротермальной деятельности. В настоящее время наблюдается интенсивное поступление углекислого газа по крупным разломам и связанным с ними более мелким разрывным нарушениям. Водород присутствует в значительно меньших количествах. Образование его генетически связано в основном с гидротермальной деятельностью, обусловившей ртутное оруденение. Термальный метаморфизм органического вещества со стороны низкотемпературных гидротерм проявился в незначительной степени и, следовательно, играл небольшую роль при газообразовании.

Совершенно иные условия газообразования существовали в стабильных зонах — на платформах и кристаллических щитах, где магматическая и тектоническая деятельность в основном завершилась в докембрийское или палеозойское время.

Значительное количество горючих газов, представляющих большую опасность при эксплуатации месторождений, находится там, где изверженные породы и рудные тела залегают среди осадочных образований, богатых органическим веществом (угленосные и нефтегазопосные отложения). В случае интенсивного термаль-

ного воздействия на эти осадочные породы со стороны интрузивных тел в газовой смеси содержится значительное количество водорода и в ряде случаев тяжелых углеводородных газов. При наличии радиоактивных минералов в рудных телах или вмещающих породах в газовой смеси увеличивается содержание гелия. В месторождениях подобного типа образуются значительные газовые скопления, с которыми связаны длительные и в ряде случаев интенсивные газовыделения. К таким месторождениям относятся Норильские медно-никелевые, железорудное Кливленд, золото-урановые Витватерсранда, алмазные Якутии и Южной Африки и т. д. Рудные тела или кимберлитовые трубки в этих месторождениях залегают среди осадочных пород, содержащих углестое или битуминозное вещество, или в непосредственной близости от них.

Месторождения, расположенные среди изверженных и метаморфических пород кристаллических щитов, в подавляющем большинстве случаев не содержат сколько-либо значительных количеств природных газов. Основными газовыми компонентами являются азот и углеводородные газы. Иногда отмечается высокое содержание водорода. Углекислый газ обычно имеет подчиненное значение. Иногда при наличии в породах значительного количества радиоактивных элементов в природных газах отмечается повышенная концентрация гелия. Основная масса природных газов здесь имеет магматическое происхождение и находится в замкнутых порах и микротрещинках пород. Лишь изредка они образуют скопления в локальных изолированных от поверхности участках, характеризующихся повышенной трещиноватостью пород. Такого типа скопления природных газов развиты в Хибинских апатито-нефелиновых месторождениях.

На современное распределение природных газов рудных месторождений решающее влияние оказывают также такие факторы, как структурно-тектонический и гидрогеологический (роль других факторов — литологии, коллекторских свойств пород и геоморфологических условий изложена в предыдущих разделах).

Как уже было отмечено, изверженные, метаморфические и основная масса осадочных пород являются плохими коллекторами и, следовательно, обладают плохой газопроницаемостью и малой пористостью. Вслед-

стве этого преобладающие количества природных газов локализованы в трещиноватых зонах, связанных с разрывными нарушениями. Кроме того, эти зоны служат основными путями миграции газов, рудоносных флюидов и подземных вод. Главным критерием для определения роли дизъюнктивных нарушений в распределении природных газов следует считать их проницаемость. По степени проницаемости они подразделяются на плохо проницаемые (закрытые) нарушения и нарушения с зияющими трещинами (открытые). Открытые нарушения являются дегазирующими в случае, если они выходят на поверхность, или газоподводящими, если они перекрыты газонепроницаемыми породами или «запечатаны» на поверхности непроницаемым глинистым материалом. Однако далеко не все нарушения или только открытые или только закрытые. Обычно большая часть дизъюнктивных дислокаций обладает переменной проницаемостью, изменяющейся как по падению, так и по простиранию. В связи с этим они сочетают свойства закрытых и открытых нарушений. В качестве примера можно привести разрывные нарушения на медноколчеданных месторождениях Урупского района, ртутных месторождениях Северо-Западного Кавказа и т. д.

Распределение природных газов в значительной степени зависит и от возраста дизъюнктивных дислокаций. Дорудные разрывы служили основными путями перемещения флюидов, в том числе рудоносных. Одновременно происходило поступление природных газов, которые попадали в рудные тела и вмещающие их породы. В отдельных случаях формировались локальные скопления природных газов. Однако основное количество газов находится в рассеянном состоянии в замкнутых порах и микротрещинках пород и образует эндогенные газовые ореолы вокруг рудных тел.

При перекрытии дорудных разрывных нарушений более молодыми непроницаемыми породами они из дегазирующих превратились в основные пути перемещения природных газов в верхние, ранее дегазированные горизонты. В настоящее время разломы и связанные с ними трещиноватые зоны увеличивают газообильность горных выработок, проходимых по рудным телам и вмещающим их породам.

Пострудные нарушения играют большую роль в перераспределении природных газов и способствуют их выносу из мест локализации в рудных телах и вмещающих породах в верхние части разреза или атмосферу.

Для месторождений, расположенных в стабильных участках земной коры, где магматическая деятельность закончилась до альпийского орогенеза, пострудные нарушения являются дегазирующими (медноколчеданные месторождения Урупского района, Норильские медноникелевые месторождения и т. д.).

Пострудные нарушения и связанные с ними открытые трещины в пределах месторождений, расположенных в молодых складчатых областях, где магматическая деятельность проявлялась еще в палеогене, неогене или даже в четвертичное время (Худесское медноколчеданное и БалеЙские золоторудные месторождения), в настоящее время следует считать основными путями миграции природных газов и подземных минерализованных вод. Дорудные нарушения в таких районах обычно заполнены различными гидротермальными минералами и являются, следовательно, плохо проницаемыми или практически непроницаемыми.

Складчатые структуры также играют важную роль в распределении и локализации природных газов. Газовые скопления обычно приурочены к осевым частям антиклинальных складок, характеризующихся большей трещиноватостью пород, или к центральным частям синклинальных складок. Последнее имеет место главным образом в районах, где сейчас отсутствует молодой газо-непроницаемый чехол осадочных отложений, перекрывающий рудные тела и вмещающие их породы.

Происхождение природных газов, их перемещение и локализация в большой степени связаны с химизмом и динамикой подземных вод. Это обусловлено тем, что вода является динамически равновесной системой, содержащей как растворенные ионы и соли, так и природные газы. Состав природных газов, так же как и солевой состав подземных вод, определяется влиянием окружающей среды.

Количество природных газов, находящихся в подземных водах, довольно велико. По данным В. И. Вернадского (1912), оно составляет примерно $10^{-3}\%$ их массы. Максимальное содержание газов (до 0,1 вес. %

и более) характерно для вод минеральных источников (Карцев и Шугрин, 1964).

Состав газов в поверхностных и подземных водах резко различен. Основные компоненты поверхностных вод — газы атмосферы кислород и азот. Подземные воды по газовому составу более разнообразны; в зависимости от условий формирования они содержат углеводородные газы, углекислый газ, сероводород, редкие газы и в отдельных случаях водород.

На распределение химических типов подземных вод, так же как и газов, воздействуют одни и те же факторы. Значительная нарушенность месторождений в зоне эрозионного вреза, уничтожившего покрывку практически непроницаемых пород, обуславливает усиленную инфильтрацию поверхностных вод, что приводит к дегазации окружающих участков. Минерализация подземных вод здесь обычно не превышает 1 г/л. Они относятся в основном к гидрокарбонатно-кальциевому типу. Природные газы, растворенные в этих водах, представлены азотом, углекислым газом и кислородом, что характерно для зоны свободного водо- и газообмена с атмосферой. Указанная закономерность нарушается в зоне окисления сульфидных месторождений, где в подземных водах содержится сероводород, сернистый газ и в карбонатной среде — углекислый газ.

Иные условия имеют место в тех частях месторождений, где инфильтрация поверхностных вод на глубину происходит в крайне незначительных количествах или практически прекращена. Подземные воды здесь часто являются напорными, имеют высокую минерализацию — до 50 г/л и более и относятся в основном к хлоридно-натриевому типу.

По мере инфильтрации поверхностных вод в более глубокие горизонты содержание иона SO_4^{2-} в подземных водах постепенно убывает, и в условиях восстановительной обстановки он, наконец, полностью исчезает. Отсутствие SO_4^{2-} в минерализованных хлоридно-натриевых водах объясняется процессами десульфуризации, которые приводят к образованию сероводорода. В этих же водах присутствуют и углеводородные газы.

Замедленная циркуляция подземных вод, а также восстановительная обстановка их формирования способствовали образованию и накоплению в природных газах

горючих компонентов, сероводорода и гелия. Таким образом, существует тесная зависимость между химическим составом подземных вод, их минерализацией и составом природных газов, которая довольно отчетливо проявляется не только в угольных, что было установлено А. И. Кравцовым (1950 г., 1966), но и в рудных месторождениях.

Воды гидрокарбонатно-кальциевого типа характеризуют зону газового выветривания и указывают на отсутствие значительных количеств углеводородных газов, водорода и гелия, а хлоридно-натриевые воды, наоборот, на наличие скоплений указанных газов, часто с сероводородом. Между этими основными типами подземных вод существует и ряд переходных, которые соответствуют различной степени дегазации месторождений. Увеличение содержания в подземных водах рудных месторождений ионов Ca^{2+} , HCO_3^{1-} и SO_4^{2-} может свидетельствовать о степени дегазации месторождений, а Na^{1+} и Cl^{1-} — на наличие в природных газах метана с примесью тяжелых газообразных гомологов, сероводорода и, возможно, гелия.

Воды рудных месторождений, расположенных в области молодой магматической деятельности, имеют в основном гидрокарбонатно-натриевый и гидрокарбонатно-хлоридно-натриевый состав. Для этих вод специфичны определенные природные газы, преобладающим компонентом в которых является двуокись углерода. В отдельных случаях в составе этих газов присутствует большое количество водорода и метана.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГАЗОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Результаты изучения газоносности рудных месторождений, находящихся в различных геологических условиях, установление факторов, обуславливающих распределение природных газов и происхождение отдельных компонентов, указывают на необходимость систематизации основных сведений, т. е. построения классификации. Актуальность составления подобной классификации очевидна еще и потому, что она может помочь при выявлении газоносности отдельных рудных месторождений, разработке мер по борьбе с газовыделениями в рудниках,

Классификация природных

Тип газа	Тектоническая приуроченность месторождений	Время окончания магматической деятельности	Основные источники природных газов	Приуроченность и локализация основных количеств природных газов
Углекислый, иногда углекисло-водородный	Молодые и мобильные зоны геосинклиналей и платформ	Главным образом Pg — Q	Расположенные поблизости и на сравнительно небольшой глубине магматические очаги	Раздробленные и трещиноватые зоны, связанные с разрывными нарушениями
Углекисло-углеводородный	Краевые подвижные зоны геосинклиналей (переходные зоны)	Проявление молодой магматической деятельности не известно. Гидротермальная деятельность проявлялась в Сг и N	Глубоко расположенные магматические очаги, возможно находящиеся на последнем этапе своей деятельности. Осадочные породы, содержащие углистое и битуминозное вещество	Трещиноватые и раздробленные породы вблизи разрывных нарушений; пористые, пронизываемые разности осадочных пород
Углеводородный	Платформы	Не моложе Сг	Угольные пласты, нефтегазоносные породы, породы с органическим веществом, подвергшиеся термальному воздействию со стороны интрузивных тел	Трещиноватые и раздробленные зоны метаморфизованных и гидротермально измененных пород, агломераты ультраосновных пород в трубах взрыва

газов рудных месторождений

Характер газовыделений	Газовые компоненты			Происхождение природных газов	Месторождения
	Основные	иногда встречающиеся в значительных количествах	встречающиеся в виде примесей		
Газирующие минеральные источники; длительное газирование разведочных скважин. Крупные и мелкие сульфидные выделения в горных выработках	CO ₂ , H ₂	N ₂	CH ₄ , H ₂ S, T. У., редкие газы	Магматическое (ювенильное); химическое, биохимическое, радиогенное (в очень незначительном количестве)	Район Тырны-Аузского вольфрамо-молибденового месторождения, Худесское медноколчеданное (Северный Кавказ), Балейские золоторудные (Восточное Забайкалье) и др.
Газирующие минеральные источники. Длительное газирование разведочных скважин. Крупные и мелкие сульфидные выделения в горных выработках	CO ₂ , CH ₄ , N ₂	H ₂	H ₂ S, T. У., редкие газы	Магматическое (ювенильное) и биохимическое; химическое и радиогенное (в ничтожном количестве)	Ртутные Северо-Западного Кавказа, Карпат, США и др.
Длительное газирование скважин. Крупные и мелкие сульфидные выделения в горных выработках	CH ₄ , H ₂ , N ₂	CO ₂ , T. У., He	H ₂ S, редкие газы	Биохимическое и химическое; магматическое радиогенное (в незначительном количестве)	Норильские медно-никелевые, алмазные Якутии и Южной Африки, золото-урановые Южной Африки, железорудное Кливленд, ртутные Донбаса и др.

Тип газа	Тектоническая приуроченность месторождений	Время околпачания магматической деятельности	Основные источники природных газов	Приуроченность в локализации основных количеств природных газов
				Угольные пласты и пористые разности вмещающих осадочных пород
Углеводородно-азотный, реже углеводородный. Крайне редко азотно-водородный	Кристаллические щиты	В основном S — D	Метаморфические и изверженные породы, значительная миграция из глубин	Поры, локальные трещиноватые зоны в изверженных и метаморфических породах

а также при использовании отдельных газовых компонентов в качестве геохимических индикаторов для решения ряда геологических вопросов.

Газы рудных месторождений как самостоятельная группа ни в одной из существующих общих классификаций природных газов не выделены. Лишь газы отдельных месторождений, приуроченные к изверженным или метаморфическим породам, могут быть отнесены к типам газов метаморфических и остывших изверженных пород (Соколов, 1956, 1966; Кравцов, 1961, 1966), а согласно последней классификации В. А. Соколова (1966) они могут быть частично отнесены к типу газов гранитной и базальтовой оболочек.

Однако выделенные в классификациях В. А. Соколова и А. И. Кравцова типы газов не характеризуют всего

Характер газовыделений	Газовые компоненты			Происхождение природных газов	Месторождения
	основные	иногда встречающиеся в значительных количествах	встречающиеся в виде примесей		
Слабое эпизодическое газирование. Интенсивное газирование отмечается крайне редко. Главным образом мелкие сульфидные выделения в горных выработках. Крупные — очень редки	CH ₄ , N ₂ , H ₂	CO ₂ , He	T. У., H ₂ S, редкие газы, редко NH ₃	Магматическое (ювенильное); радиогенное (иногда в незначительном количестве)	Хибинские апатито-нефелиновые, железорудные. Даннемора, золоторудное Кальгурли

многообразия химического состава газов различных рудных месторождений и не учитывают геолого-геохимические условия газообразования, локализации основных количеств природных газов и различных форм газовой выделений. Кроме того, они нуждались в значительной детализации и уточнении.

В. И. Вернадский (1931) указывал, что «...научная классификация есть эмпирическое построение, имеющее своей задачей разместить изучаемые тела или явления в определенную систему, сколь возможно менее субъективно». Подразделение газов по их происхождению на разные генетические группы и отнесение к ним отдельных газовых скоплений или газопроявлений представляет значительные затруднения для ее практического использования, так как в природных условиях одни и те

же компоненты могут образовываться при самых различных процессах. Классификация газов по их химическому составу также имеет ряд недостатков. Изучение состава газов, конечно, позволяет отличать углеводородные или другие газы от остальных и, следовательно, выделять те или иные типы газов по преобладанию отдельных компонентов. Однако диагностировать газы только по химическому составу нельзя, так как одни и те же компоненты могут быть различного происхождения.

Выделение определенных групп природных газов рудных месторождений нами проводится как по химическому составу их, так и по комплексу геологических и геохимических условий, определяющих в конечном счете происхождение, распределение и локализацию газовых компонентов. Предлагаемая на основе имеющегося в настоящее время материала классификация природных газов рудных месторождений приведена в табл. 8.

Кроме того, природные газы рудных месторождений могут быть подразделены и по другим признакам.

По генетическим признакам природные газы можно подразделить на два типа.

I. Газы сингенетические (первичные), образовавшиеся одновременно с рудными телами, изверженными, метаморфическими и гидротермально измененными породами: а) в магматическом расплаве (ювенильные); б) при воздействии интрузивных тел и гидротермальных растворов на осадочные породы и содержащееся в них органическое вещество.

II. Газы эпигенетические, или миграционные: а) атмосферные, привносимые в рудные тела и вмещающие их породы инфильтрующимися водами; б) образовавшиеся в осадочных породах и мигрировавшие в рудные тела, изверженные и метаморфические породы. В свою очередь газы магматического происхождения также мигрируют в осадочные породы.

По приуроченности к определенному комплексу пород, согласно Х. Ф. Джамаловой (Лидин, Матвиенко, Шершуков и др., 1966), составившей классификацию природных газов Норильского района, можно выделить: газы рудных тел, вмещающих их изверженных, метаморфических и гидротермально измененных пород и газы осадочных образований (газы угольных пластов, нефте-

газовых залежей, рассеянного органического вещества и т. д.).

По морфологическому признаку газы могут быть подразделены на следующие виды:

- 1) сорбированные твердыми телами (рудами, породами, органическим веществом);
- 2) растворенные в подземных водах;
- 3) свободные.

Приведенная классификация природных газов рудных месторождений является первой попыткой их систематизации, и, следовательно, нуждается в дальнейшем совершенствовании.

МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ГАЗОНОСНОСТИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ ДЛЯ ПОИСКОВ РУДНЫХ ТЕЛ И РЕШЕНИЯ РЯДА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ГАЗОНОСНОСТИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Приведенные выше материалы убедительно свидетельствуют о том, что появление значительных количеств природных газов, в том числе и горючих (водорода, метана и его тяжелых гомологов), в горных выработках рудных месторождений — явление, довольно широко распространенное. Интенсификация добычи полезных ископаемых и отработка глубоких горизонтов со всей остротой поставили вопрос о необходимости детального изучения газоносности рудных месторождений с целью создания наиболее безопасных условий ведения эксплуатационных работ.

На многих рудных месторождениях интенсивные газо-выделения были установлены в процессе проведения разведочных работ: выбросы газа, сопровождавшиеся в отдельных случаях пожарами, на буровых скважинах ряда алмазных месторождений Якутии, медноколчеданных месторождений Северного Кавказа, ртутных месторождений Краснодарского края и т. д. Это свидетельствовало о наличии на глубине газовых скоплений, представляющих серьезную опасность для эксплуатации месторождений, и потребовало разработки специальных мероприятий.

Установлено, что газоносность рудных тел и вмещающих их пород в основном определяется газами, находящимися в свободном состоянии как в трещинах и сообщающихся пустотах (первая группа), так и в замкнутых, изолированных порах и микротрещинах (вторая группа).

Газы первой группы эпигенетичны рудным телам и вмещающим их изверженным и метаморфическим породам. Они в большинстве случаев определяют газоносность рудных месторождений. Природные газы этой группы образуют значительные скопления и обуславливают интенсивные и долговременные суфлярные выделения в горные выработки (Рудник «Заполярный» — месторождение Норильск I).

Газы второй группы содержатся в небольших количествах (единицы, реже первые десятки кубических сантиметров на 1 кг породы) в породах и рудах, сингенетичны им и обычно составляют ничтожную часть общей массы природных газов месторождений. В редких случаях они образуют довольно значительные скопления в отдельных крупных полостях или локальных участках повышенной микротрещиноватости пород (Тагильский дунитовый массив, Хибинские апатито-нефелиновые месторождения).

Таким образом, становится очевидным, что газоносность рудных месторождений обусловлена в основном миграционными газами, образующими в рудных телах и вмещающих их породах крупные газовые скопления. Ряд рудных месторождений характеризуется значительной газоносностью, препятствующей нормальному ведению эксплуатационных работ. Следовательно, уже в процессе разведки отдельных месторождений необходимо изучать их газоносность.

Основанием для исследования газоносности того или иного рудного месторождения являются наличие газифицирующих источников, газирование промывочной жидкости в процессе бурения скважин или отдельные случаи выбросов газа и промывочной жидкости, появление в подземных разведочных выработках свободных газовыделений суфлярного типа.

Работы по изучению газоносности рудных месторождений в процессе их разведки должны иметь следующие направления:

1. Определение состава природных газов.

2. Получение качественной и количественной оценки распределения природных газов как по площади месторождений, так и по вертикальному разрезу.

3. Установление приуроченности скоплений к рудам и вмещающим их породам; выявление характера и интенсивности газовыделений в различных частях месторождения.

4. Выявление роли основных структурно-тектонических, гидрогеологических и геоморфологических факторов, определяющих современное распределение природных газов: плинктивных и разрывных нарушений, покрова непроницаемых пород, динамики и химического состава подземных вод и т. д. Одновременно следует определять коллекторские свойства пород — пористость и газопроницаемость.

5. Установление происхождения, распределения и роли основных газовых компонентов в общем газовом балансе месторождения.

Полученные в процессе разрешения указанных вопросов данные являются исходными для составления прогноза газоносности месторождений, оценки газообильности и разработки мер по борьбе с выделением газа в рудники.

При изучении газоносности рудных месторождений могут быть получены также данные, позволяющие использовать отдельные газовые компоненты (CO_2 , H_2 , H_2S , He и т. д.) в качестве поисковых признаков.

Изучение газоносности в процессе разведочных работ производится в основном при помощи газового каротажа по керну и промывочной жидкости бурящихся скважин¹. Кроме того, необходимо проводить систематическое наблюдение за свободными газовыделениями как по скважинам и источникам, так и горным выработкам, опробованию подземных вод и т. д.

Основным методом изучения газоносности рудных месторождений в процессе разведки является газовый картаж по промывочной жидкости, который позволяет наиболее полно оценить газонасыщенность разреза,

¹ Работы по газовому каротажу скважин с целью обнаружения нефтяных и газовых залежей были начаты В. А. Соколовым в 1930—1933 гг. Дальнейшая разработка этого метода производилась Г. Г. Григорьевым, Г. А. Могилевским, Ю. М. Юровским, Б. В. Владимировым и др. (Соколов, Юровский, 1961 и др.).

фиксируя газы, находящиеся в свободном состоянии в трещинах и отдельных хорошо проницаемых разностях пород.

Теоретическая предпосылка этого заключается в том, что изверженные, метаморфические, в ряде случаев осадочные породы и руды вследствие ничтожной сорбционной емкости и малой пористости содержат весьма незначительные количества природных газов. При бурении монолитных пород и руд интенсивность газовыделений так мала, что часто находится ниже предела чувствительности применяемой аналитической аппаратуры или составляет десятые, реже первые кубические сантиметры горючих газов на 1 л промывочной жидкости. Преобладающее количество природных газов находится в свободном состоянии в отдельных трещинах и трещиноватых зонах, являющихся основными вместилищами газов (коллекторы трещинного типа), а также насыщают подземные воды, циркулирующие по этим же трещинам. В процессе бурения газы, содержащиеся в трещинах и трещиноватых зонах, попадают в скважину и вместе с промывочной жидкостью в растворенном и свободном состоянии выносятся на поверхность, где и могут быть зафиксированы в результате опробования. Следовательно, при изучении газоносности рудных месторождений важное значение имеет опробование промывочной жидкости путем проведения точечного или непрерывного (с использованием газокаротажных станций типа АГКС) газового каротажа. Руды и вмещающие их породы в подавляющем большинстве случаев имеют небольшое газосодержание и не характеризуют газоносность месторождений в целом.

Для определения интенсивности газовыделений на различных участках месторождений и оценки количества газа в скоплениях на глубине следует использовать такие показатели, как состав газов и дебиты свободных газовыделений, а также газонасыщенность промывочной жидкости и содержание в ней отдельных газовых компонентов (в основном метана, водорода и углекислого газа).

Наиболее объективным показателем газопроявлений является среднее содержание природных газов в 1 л промывочной жидкости, так как оно указывает на масштабы выделения газов в скважину. В зависимости от

геологического строения месторождений, трещиноватости пород и мощности рудных тел это значение выбирается или для определенных интервалов проходимых пород или для разреза скважины в целом. О масштабах газовыделений можно судить и по количеству природных газов или отдельных его компонентов (метана, водорода или углекислого газа), выделившихся в промывочную жидкость при бурении:

$$Q = q \cdot t \cdot 10^{-3},$$

где Q — количество природных газов или отдельных компонентов, выделившихся в промывочную жидкость при бурении в рудном теле или отдельных зонах, л;

q — усредненное фактическое¹ содержание природных газов или отдельных компонентов в пробах промывочной жидкости, см³/л;

v — производительность насоса, л/мин;

t — время чистого бурения данного интервала, мин.

Максимальное содержание природных газов или отдельных компонентов в пробах промывочной жидкости позволяет судить об интенсивности их поступления.

Интенсивность выделения природных газов или отдельных компонентов при бурении скважин в трещиноватых породах может быть также оценена количеством газов, выделившихся при проходке 1 м.

$$q_1 = \frac{Q}{H},$$

где Q_1 — количество газов, выделившихся в промывочную жидкость при проходке 1 м, л;

H — интервал бурения, м.

При интерпретации данных газового опробования по промывочной жидкости необходимо учитывать все пути обогащения ее природными газами. Оно происходит, во-первых, вследствие разрушения пород в процессе бурения. Однако в значительной степени обогащаться выделяющимися из проходимых пород газами промывочная жидкость может лишь в том случае, если породы обладают большим газосодержанием (угольные пласты, оса-

¹ Фактическое содержание газовых компонентов в пробах промывочной жидкости равняется разности между содержанием их в выходящей и входящей промывочной жидкости, взятое с учетом времени отставания при движении ее в скважине ($q = q_{вых} - q_{вх}$).

дочные породы, обогащенные органическим веществом, или пористые хорошо проницаемые коллекторы). При проходке монолитных, практически непроницаемых пород и руд обогащение промывочной жидкости природными газами будет столь незначительным, что им можно пренебречь (рис. 14, а).

Во-вторых, промывочная жидкость может обогащаться природными газами при бурении в локальных участках повышенной трещиноватости пород и руд или при пересечении отдельных крупных трещин (рис. 14, б). Если давление газа в трещинах будет больше, чем давление столба промывочной жидкости, то может возникать эпизодическое газирование промывочной жидкости. При пересечении локальных зон повышенной трещиноватости пород будут наблюдаться иногда интенсивные, но, как правило, кратковременные газовыделения.

В-третьих, наибольшее обогащение промывочной жидкости природными газами происходит там, где породы интенсивно перемяты и разбиты массой сообщаю-

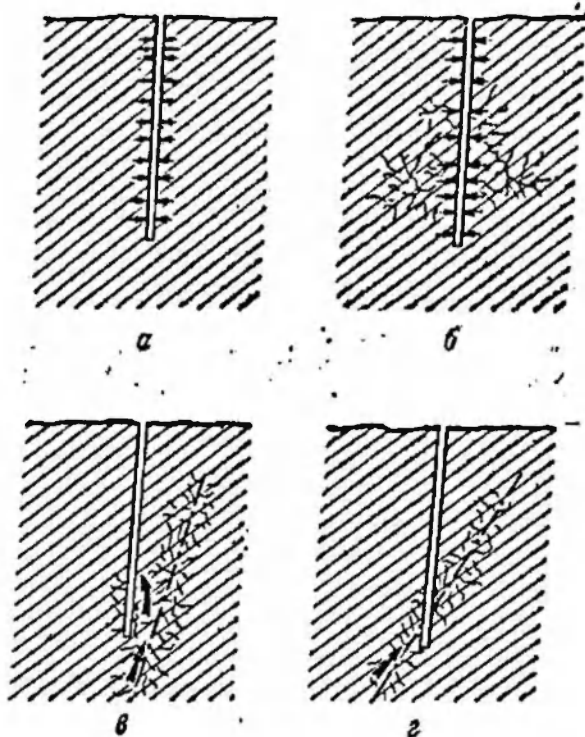


Рис. 14. Различные случаи газовыделения в скважины при бурении осадочных, метаморфических и изверженных пород.

а — слабые выделения метана и реже водорода обычно постоянны, в очень небольших количествах из монолитных пород с обычной трещиноватостью; при перебурке угольных пластов или из осадочных пород с повышенным содержанием органического вещества выделяются большие количества газов, в основном метана; б — относительно повышенные, иногда интенсивные, но кратковременные газовыделения, связанные с локальными участками повышенной трещиноватости и отдельными крупными трещинами; наиболее интенсивные и длительные выделения в скважины метана и водорода в начальный момент газирования; в — при пересечении скважиной трещиноватой зоны, связанной с дизъюнктивными нарушениями; г — при пересечении скважиной дизъюнктивного нарушения, являющегося основным путем миграции газов.

щихся между собой трещин — вблизи крупных разрывных нарушений или при пересечении их скважинами (рис. 14, в, г). При бурении в таких участках наблюдается продолжительное газирование скважин. В частности, на медноколчеданных месторождениях Урупского района отдельные скважины газировали более 6—7 лет, причем заметных изменений в дебитах и составе выделяющихся газов за это время не произошло. Длительное газирование скважин отмечается и на ртутных месторождениях Северо-Западного Кавказа. Интенсивность выделения природных газов бывает настолько велика, что могут иметь место выбросы воды и газа. Это свидетельствует о том, что природные газы в трещиноватых коллекторах находятся под большим давлением (порядка 50 ат и более). Газосодержание промывочной жидкости при бурении в таких зонах резко увеличивается и в отдельных случаях достигает 1000 см³ горючих газов на 1 л промывочной жидкости или более 3 м³ горючих газов на 1 м бурения (отдельные месторождения Норильского района).

Таким образом, газовый каротаж по промывочной жидкости может быть с успехом использован при изучении газоносности рудных месторождений, в первую очередь для выявления газовых скоплений в трещиноватых зонах, представляющих значительную опасность при эксплуатации.

Сложность и разнообразие геологического строения рудных месторождений, различие в морфологии и условиях залегания рудных тел, несмотря на ряд общих закономерностей в распределении природных газов и характере их выделения, обуславливают специфику выбора объектов газового опробования и частоты отбора проб. Для каждой группы месторождений, обладающих сходным геологическим строением, формой и условиями залегания рудных тел, необходима своя схема газового опробования.

При несложном тектоническом строении месторождений, где рудные тела представляют собой пластовые и линзообразные залежи, или при вкрапленном оруденении для газового опробования следует выбирать 1—2 разведочные линии в центральной части месторождения и, кроме того, несколько скважин на флангах месторождения. Для месторождений, имеющих сложное

геологическое строение и неправильную изменчивую форму рудных тел, число опробованных скважин и частота отбора проб по ним увеличиваются. В данном случае, по-видимому, газовое опробование целесообразно проводить по нескольким разведочным линиям (2—3, иногда больше), расположенным в различных частях месторождения.

Однако во всех случаях опробуемые скважины следует выбирать с таким расчетом, чтобы иметь возможность опробовать все породы месторождения. Наиболее детально должны опробоваться зоны разрывных нарушений, контакты рудных тел с вмещающими породами, рудные тела, а также такие интенсивные источники горючих газов, как угольные пласты или осадочные породы, обогащенные углистым или битуминозным веществом¹.

На основании результатов проведенных работ должна быть составлена карта прогноза газоносности месторождения с выделением участков, различных по характеру, интенсивности газопроявлений и величине газовых скоплений.

Отбор проб пород и руд для изучения состава и количества содержащихся в них газов производится так, чтобы опробовать все разновидности пород и руд. Частота отбора образцов обычно увеличивается в рудном теле и вблизи контактов с вмещающими породами. Пробы пород и руд отбираются при проведении газового каротажа непосредственно после извлечения керна из колонковой трубы. Герметизация проб осуществляется непосредственно на месте отбора в металлических или стеклянных сосудах.

Пробы промывочной жидкости отбираются на выходе у устья скважины (выходящая промывочная жидкость) или на входе у предохранительного крана грязевого насоса, а в отдельных случаях и из отстойника. Отбор проб промывочной жидкости и подземных вод наиболее целесообразно производить в плоские медицинские грелки (емкостью 2—2,5 л), снабженные отводящим патрубком. Опыт работы с этими сосудами в течение

¹ Методика изучения газоносности угольных пластов и осадочных пород с органическим веществом достаточно широко описана в специальной литературе (Кравцов, 1950; Элинсон, 1962; Временная инструкция, 1966 и т. д.).

ряда лет показал, что они значительно более удобны для отбора проб воды и промывочной жидкости, чем стеклянные (они более вместительны и транспортбельны).

Пробы свободно выделяющегося газа из скважин и источников отбираются в стеклянные сосуды. Отбор проб производится путем вытеснения воды газом, поступающим в сосуд через воронку, снабженную резиновым шлангом. Для более полной герметизации в бутылках надо оставлять водяной «затвор» высотой 20—50 мм.

Извлечение газов, содержащихся в породах, рудах, подземных водах и промывочной жидкости, можно производить на различных дегазационных приборах. По нашему мнению, наиболее полное извлечение газа почти без изменения его первоначального состава¹ удается осуществить на термовакуумных приборах (Эллисон, 1963). Вакуум в приборах создается при помощи насоса ВИ-461 или РМ-20; рабочей жидкостью служит подкисленный концентрированный раствор поваренной соли.

Для более полного по сравнению с обычной дегазацией извлечения газов, а также с целью изучения газов, сингенетичных породам и рудам, что необходимо при геохимических исследованиях, производится измельчение образцов в вакууме. Наиболее широко применяется шаровая вакуумная мельница, конструктивно разработанная М. М. Эллисон (1963).

Анализ природных газовых смесей является одним из важных этапов изучения газоносности месторождений и геохимических исследований. Различные цели анализов и соответственно разные требования к точности полученных данных обуславливают применение определенных методов и приборов.

Для общего анализа газов при содержании отдельных компонентов более 0,5% применяются приборы, основанные на воллюметрии газов (газообъемный метод), например газоанализатор ВТИ-2. Принцип анализа газа на этом приборе заключается в раздельном определении содержания компонентов двумя путями: а) избирательное поглощение жидкими поглотителями кислотных газов (CO_2 , H_2S и т. д.), кислорода, окиси

¹ При нагреве проб до 50—70°C значительно ускоряется процесс дегазации, в то же время разложение природных карбонатов и бикарбонатных солей крайне невелико.

углерода и непредельных углеводородов (C_mH_n);
б) фракционированное сжигание над окисью меди водорода ($t = 280-300^\circ C$) п предельных углеводородов (суммы).

Широкое применение получили методы разделения газовых смесей путем низкотемпературной дистилляции (разгонки), в особенности при помощи различных адсорбентов — хроматография. К приборам, работающим по методу хроматографии, в частности, относятся хромотермохимический газоанализатор ХТХГ, ГСТЛ-3, «Геохимик», «Цвет», УХ и др. Эти приборы позволяют производить раздельное определение тяжелых углеводородных газов, водорода, гелия и аргона с точностью $10^{-5}-10^{-5}\%$.

Для быстрого определения суммы углеводородных газов и углекислого газа в полевых условиях могут быть применены переносные оптические газоанализаторы (интерферометры) типа ШИ-3, ШИ-7, ИГИ чувствительностью от 0,3 до 1,0%, зависящей от определяемой концентрации углекислого газа и метана, и приборы японского производства — «Rikep-17—18».

О возможности использования природных газов рудных месторождений при поисках и для решения отдельных геологических задач

Широкое развитие геохимических методов поисков нефтяных и газовых месторождений, впервые разработанных в СССР (Соколов, 1933 г.), способствовало развитию геохимических методов поисков рудных месторождений (Сауков, 1946, 1963; Гинзбург, 1957 и др.). Проведенные автором и другими исследователями работы указывают на то, что природные газы рудных месторождений могут быть использованы в качестве поисковых признаков.

Вблизи рудных тел или зон интенсивной минерализации наблюдаются различные газопроявления, которые обуславливают появление аномальных концентраций определенных газовых компонентов в почвенном воздухе перекрывающих их наносов или во вмещающих породах.

Нами выделяются следующие виды связи природных газов с рудными телами как по их совместному нахождению, так и условиям газообразования:

1. Скопления природных газов в рудных телах, локализованных в разрывных нарушениях или участках по-

вышенной трещиноватости пород, являющихся основными путями перемещения как рудоносных растворов, так и природных газов.

2. Образование значительных количеств ряда газовых компонентов в результате химических реакций, протекающих в зонах окисления сульфидных руд.

3. Появление в составе природных газов повышенных концентраций компонентов, связанных с распадом радиоактивных элементов гелия, водорода¹ и в ряде случаев тяжелых углеводородных газов. Указанные компоненты могут быть использованы, помимо emanаций (радона или торона), при поисках радиоактивных руд.

4. Эндогенные газовые ореолы вокруг рудных тел. Под эндогенными газовыми ореолами в соответствии с общепринятой терминологией мы понимаем те газы, которые в отличие от вышеупомянутых газопроявлений заключены в замкнутых порах руд и вмещающих изменений пород и, следовательно, сингенетичны им. Состав эндогенных газовых ореолов в основном определяется вещественным составом руд и физико-химическими условиями их образования. Таким образом, наличие в природных газах рудных месторождений определенных компонентов позволяет использовать их в качестве поисковых признаков. Одним из поисковых газовых методов является газовая съемка.

Газы, мигрирующие через горные породы из мест генерации или газовых скоплений, образуют в поверхностных слоях (наносах) ореолы рассеивания. Данные ореолы являются вторичными, или эпигенетическими.

В толщах горных пород одновременно происходят разные процессы миграции газов: фильтрация (эффузия), диффузия и перенос газов подземными водами. Эти процессы тесно переплетаются между собой. В монолитных плохопроницаемых породах (например, глинах), где размер пор сопоставим со средней длиной свободного пробега молекул, основным и преобладающим видом миграции является диффузия. Кроме диффузион-

¹ Водород в данном случае образуется при действии α -частиц, испускаемых распадающимися ядрами радиоактивных элементов, на воду или ее пары. В областях с молодой вулканической деятельностью или термального воздействия интрузивных тел на органическое вещество пород водород не может быть использован в качестве геохимического индикатора.

ного ореола при наличии разрывных нарушений и сопутствующих им трещин образуются более мощные фильтрационные ореолы, форма и размеры которых определяются положением нарушенных и трещиноватых зон. В данном случае концентрация мигрирующих газовых компонентов значительно выше, следовательно, они могут быть легче обнаружены.

За пределами ореолов рассеивания миграционный газовый поток образован рассеянными в толще пород газами, концентрация которых во много раз меньше, чем в газовых скоплениях. Газовый фон наносов обусловлен газами, которые в них генерируются (метан, углекислый газ и другие компоненты, связанные с преобразованием исходного органического вещества в почвах). Таким образом, благодаря миграции над газовыми скоплениями, локализованными в зонах повышенной трещиноватости пород у разрывных нарушений или связанных с рудными телами, в приповерхностных отложениях образуются повышенные по сравнению с фоном концентрации мигрирующих газов — газовые аномалии. Все это и позволяет применять газовую съемку в качестве одного из поисковых методов.

Сущность метода заключается в выявлении газовых аномалий по площади или отдельным профилям по определенным газовым компонентам — индикаторам.

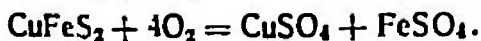
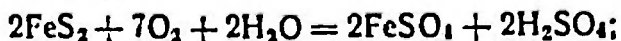
Указанный метод был впервые разработан В. А. Соколовым (1933, 1947, 1962) для прямых поисков нефтяных и газовых месторождений. Сущность его заключается в определении содержания отдельных газовых компонентов — индикаторов (для нефтяных и газовых месторождений — метана и тяжелых углеводородных газов) в наносах. Сравнительная простота и доступность метода позволяют применить газовую съемку для поисков твердых полезных ископаемых, в частности рудных, с которыми генетически связано образование тех или иных газовых компонентов.

В 1945 г. поверхностная газовая съемка была применена для поисков серы на месторождениях Узбекистана и Украины (Римский-Корсаков, 1959). При поисках серных залежей определяли содержание в почвенном воздухе свободного сероводорода (продукта восстановления сульфатов) и серного ангидрита (продукта окисления элементарной серы).

В 1949 г. Л. Я. Нестеров и Н. Ф. Майоров проводили в Кузбассе опытные работы по применению газовой съемки по углекислому газу, образующемуся в результате окисления углей, с целью прослеживания выходов угольных пластов под наносами.

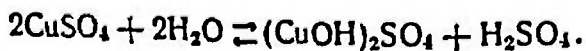
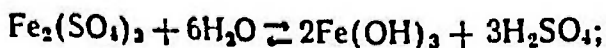
Опытные работы по обнаружению угольных пластов и трассировке разрывных нарушений были проведены в 1953—1955 гг. В. И. Ермаковым, А. П. Ван-Ван-Е и А. И. Фридманом на угольных месторождениях Печорского бассейна и Норильского района в области развития многолетней мерзлоты. В этом случае в поверхностных отложениях определялся метан, генетически связанный с угольными пластами.

Исследования подпочвенного воздуха в районах распространения сульфидных руд и над пиритизированными тектоническими зонами, проведенные В. С. Глебовской и С. С. Глебовским (1959, 1960), показали, что над рудными телами происходят значительные изменения его состава. В результате окисления сульфидных руд в подпочвенном воздухе, содержащемся в перекрывающих наносах, возникают аномальные концентрации газовых компонентов, генетически связанных с зонами окисления. В основе этих изменений лежит переход сульфидов в сульфаты, карбонаты, окислы и другие соединения с кислородом:



Сульфаты в зоне окисления неустойчивы и претерпевают различные изменения, обусловленные условиями среды.

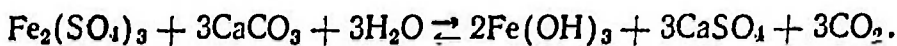
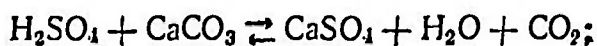
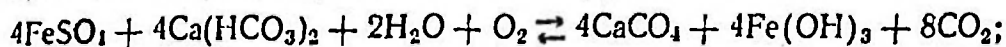
В нейтральной и слабокислой средах происходит гидролиз сульфатов:



Следовательно, в результате химических реакций происходит образование сульфатов, серной кислоты и связывание больших количеств кислорода, содержащегося в подпочвенном воздухе. Согласно данным В. С. Глебовской (1960), при полном окислении пиритового тела сечением 1 м^2 до $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и H_2SO_4 на глубину 1 мм будет связано до 3500 дм^3 свободного кислорода и

образуется около 8 кг серной кислоты. По данным С. С. Смирнова (1951), в штате Невада (США) в одном из уступов карьера, не эксплуатировавшегося около года, халькозинная руда так окислилась за это время, что на глубину 10—15 м около 15% меди перешло в растворимое состояние.

При наличии карбонатов образовавшиеся серная кислота и сульфаты металлов вступают в реакции, при которых выделяется свободный углекислый газ, попадающий в наносы, перекрывающие рудные тела:



Кроме того, в зоне окисления образуются также сероводород и сернистый газ. Сероводород, в частности, возникает при взаимодействии серной кислоты с пирротинном или сфалеритом, а сернистый газ — при воздействии сульфатов железа с пирритом. При этом получается сера, окисляющаяся до сернистого газа. Таким образом, в подпочвенном воздухе наносов, перекрывающих сульфидные руды, происходит обеднение кислородом и обогащение углекислым газом и сероводородом.

Эти изменения подпочвенного воздуха и позволили В. С. Глебовской и С. С. Глебовскому применить газовую съемку по углекислому газу и кислороду для поисков сульфидных руд. Исследования по газовой съемке они проводили в различных районах СССР на месторождениях полиметаллов, отдельных существенно пиритовых и пирротинных рудных тел, над рудными и безрудными тектоническими зонами (рис. 15 и 16). Фоновое содержание углекислого газа в подпочвенном воздухе наносов составило 1,5%, кислорода — 19,0%; над окисляющимися сульфидными телами углекислого газа — 4% и более, кислорода — 15% и менее. Ширина газового ореола была примерно в 2—5 раз больше мощности рудных тел. Следует отметить, что над рудными телами, имеющими слабо выраженную зону окисления, существенных изменений в составе подпочвенного воздуха не происходило. Как правило, интенсивные газовые аномалии были установлены на месторождениях с комплексной сульфидной минерализацией и наличием хорошо

растворяющихся сульфидов, расположенных в зоне активного окисления. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности газовой съемки при поисках сульфидных руд.

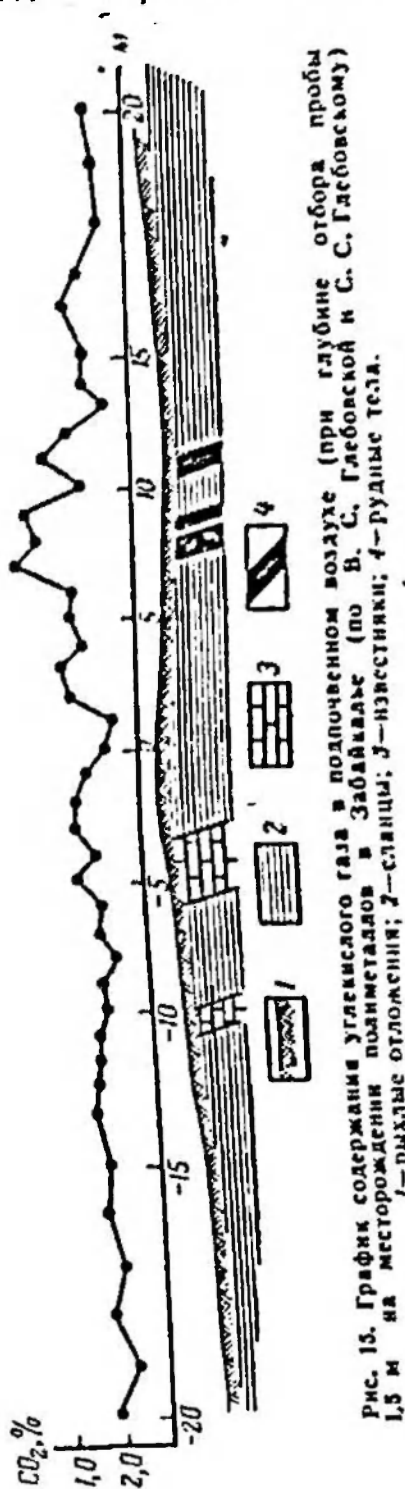


Рис. 15. График содержания углекислого газа в подпочвенном воздухе в подпочвенном воздухе (при глубине отбора пробы 1,5 м) на месторождении полиметаллов в Забайкалье (по В. С. Глебовской и С. С. Глебовскому). 1—известняки; 2—сланцы; 3—рудные тела; 4—рудные тела.

Положительные результаты, указывающие на возможность применения метода газовой съемки при поисках глубокозалегающих полиметаллических месторождений, были получены и И. В. Болотниковой (1965), которая в основном подтвердила результаты и выводы, сделанные В. С. Глебовской.

Определенный интерес представляют исследования И. А. Хайретдинова, Г. П. Докукина, В. П. Прохорова и В. Н. Сверловой (1965), проводивших поверхностную газовую съемку на одном из золоторудных месторождений Восточного Саяна. Месторождение представлено золотосодержащими пирротиновыми и существенно пирротиновыми линзовидными телами, которые залегают в экзоконтакте гранитов в сопряжении контакта карбонатных и силикатных (граниты, роговики) пород, разбитых крутопадающими разрывными нарушениями.

Изучение состава подпочвенного воздуха показало, что повышенные содержания углекислого газа, азота и пониженные—кисло-

рода характерны для воздуха над разрывными нарушениями и связанными с ними золотосодержащими сульф-

фидными рудами. Основной источник углекислого газа — карбонатные породы, интенсивно разлагающиеся под действием продуктов окисления сульфидных минералов. Повышенное количество азота в почвенном воздухе над зонами дизъюнктивных нарушений и сульфидными рудами обусловлено тем, что атмосферный кислород активно расходуется в результате окисления сульфидных минералов, а азот, как практически инертный в обычных условиях газовый компонент, накапливается во вмещающих рудные тела породах, разрывных нарушениях и перекрывающих их наносах. Таким образом, результаты проведенных исследований указывают также на возможность использования метода газовой съемки для поисков и прослеживания разрывных нарушений и связанных с ними сульфидных руд.

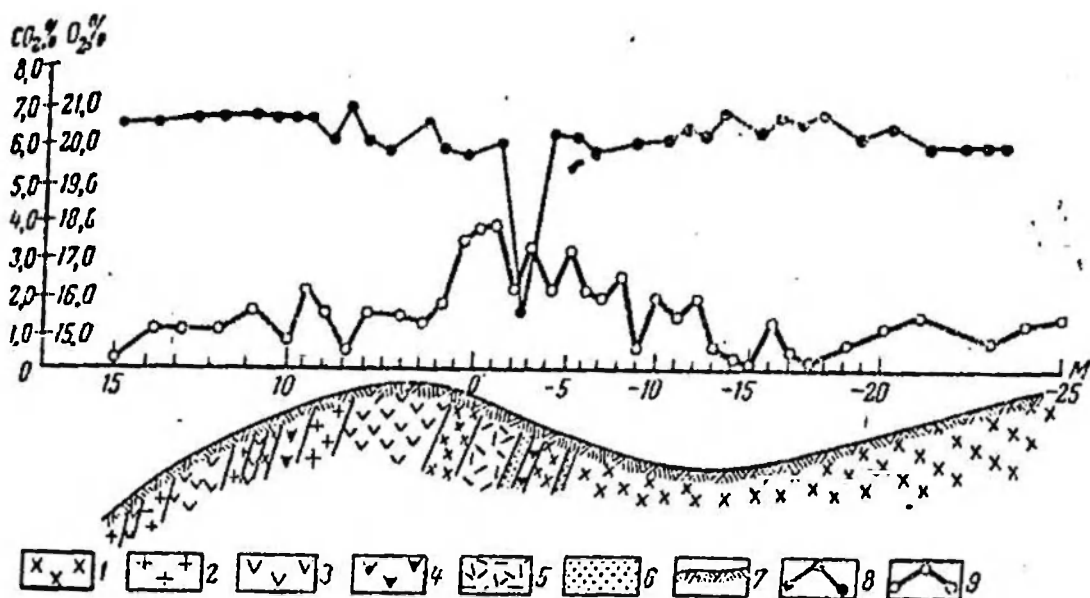


Рис. 16. Графики содержания углекислого газа и кислорода в почвенном воздухе (при глубине отбора пробы 1,5 м) на месторождении полиметаллов в Северной Киргизии (по В. С. Глебовской и С. С. Глебовскому)

1—гнейсовидный гранит; 2—лейкократовый гранит; 3—кварцевый порфир; 4—дацитовый порфир; 5—тектоническое нарушение; 6—рудные тела; 7—рыхлые отложения; 8—кривая содержания O_2 ; 9—кривая содержания CO_2 .

Интересные данные были получены в 1965—1966 гг. М. М. Элинсон при проведении газовой съемки на сульфидных месторождениях Средней Азии и Казахстана. В качестве индикаторов служили CO_2 , H_2S и SO_2 , аномальные концентрации которых в почвенном воздухе

позволяли довольно четко отбивать разрывные нарушения и рудные тела.

Локальные изменения состава подпочвенного воздуха в районах нахождения сульфидных руд могут быть следствием не только обменных химических реакций, но и жизнедеятельности определенных групп микроорганизмов. Наличие сульфатредуцирующих бактерий свидетельствует, в частности, о микробном происхождении сероводорода. Широкое развитие в породах, рудах и подземных водах сульфидных месторождений имеют тионовые бактерии, участвующие в сернокислотном окислении (Иванов, Ляликова и Кузнецов, 1958; Мехтиева и Фридман, 1961).

Все отмеченные выше исследования по газовой съемке проводились на сульфидных месторождениях, где в качестве газов-индикаторов в подпочвенном воздухе использовались компоненты, образовавшиеся в результате окисления сернистых минералов в зоне гипергенеза.

Важное значение имеют также исследования по газовой съемке, проведенные в районах, где скопления природных газов связаны с рудными телами, локализованными в разрывных нарушениях или зонах повышенной трещиноватости пород, являющихся основными путями перемещения как рудоносных растворов, так и газов (Балейские золоторудные и ртутные месторождения Северо-Западного Кавказа).

В Балейских золоторудных месторождениях преобладающее количество углекислого газа приурочено к контактам рудоносных кварцевых жил, заполняющих разрывные нарушения и связанные с ними зоны дробления, с вмещающими породами. Происхождение углекислого газа здесь связано в основном с постмагматической деятельностью, обусловившей оруденение. Такая тесная связь газопоявлений с рудными телами и разрывными нарушениями позволяет использовать газовую съемку по углекислому газу для обнаружения и прослеживания разрывных нарушений и приуроченных к ним «слепых» рудных тел (Фридман, 1961). Экспериментальные поверхностные газосъемочные работы, проведенные Н. Н. Куликовой в 1958—1962 гг., дали положительные результаты и подтвердили возможность использования их для поисков рудных тел балейского типа.

На участках распространения пород с большой влажностью, где содержание углекислого газа в подпочвенном воздухе над разломами в ряде случаев ничем прак-

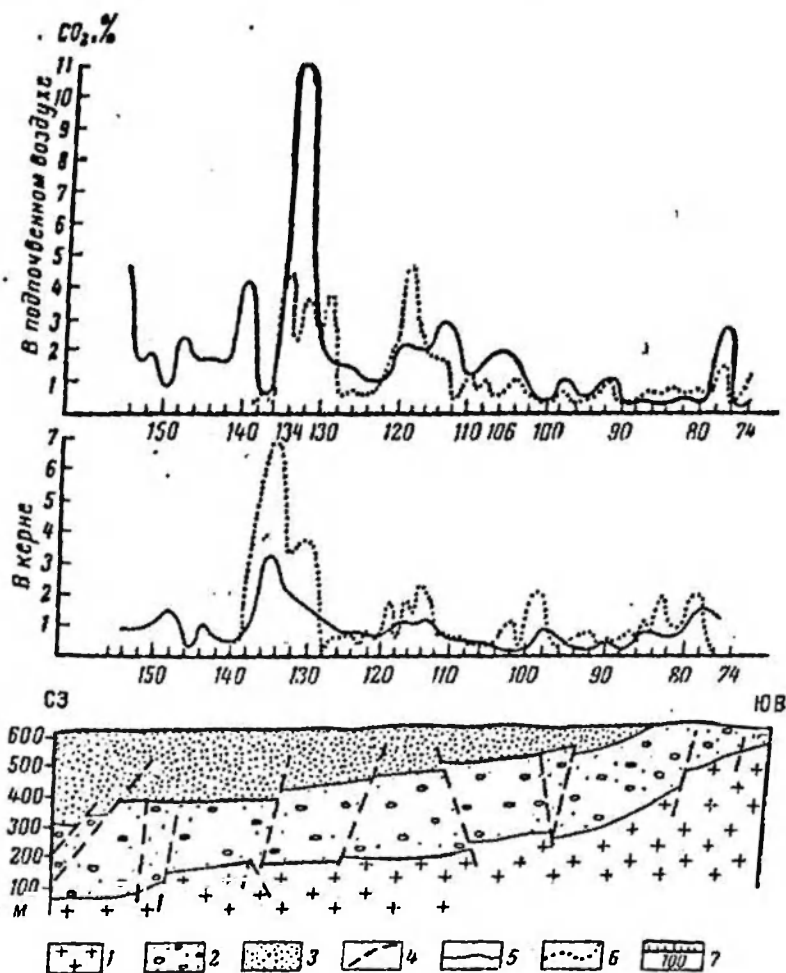


Рис. 17. Схематический геологический разрез и профили газовой и газокерновой съемки (по Н. Н. Куликовой)

1—варисские гранитоиды; 2—нижнемеловые песчаниково-конгломератовые отложения; 3—нижнемеловые песчаниковые отложения; 4—тектонические нарушения (рудные зоны); 5—кривая содержания CO₂ в поверхностных отложениях при основной съемке; 6—кривая содержания CO₂ в поверхностных отложениях при контрольном замере; 7—точки отбора проб.

тически не отличалось от фонового, проводилась также газокерновая съемка. Последняя фиксирует газы, поглощенные породами или растворенные содержащейся в них водой. Вследствие этого она с успехом может применяться на участках с сильно увлажненными наносами, где проведение газовой съемки затруднено или невозможно.

В качестве полевого газоанализатора были использованы шахтные оптические газоанализаторы (интерферометры), предназначенные для определения концентраций метана и углекислого газа в рудничном воздухе. Нами использовался интерферометр японского производства типа «Riken-18», чувствительность которого 0,02%. Для указанных целей могут быть также использованы отечественные интерферометры: ШИ-3, ШИ-5, ИГА и др.

Газовая съемка проводилась как по отдельным профилям, так и по площади.

В результате исследований было установлено, что тектонические нарушения регионального порядка, а также более мелкие оперяющие их тектонические нарушения в виде зон смятия и дробления пород при газовой съемке фиксируются во всех случаях. Полученные данные указывают также на то, что по рудоконтролирующим нарушениям и связанным с ними трещиноватым зонам и пористым, хорошо проницаемым разностям пород происходит заметное перемещение природных газов.

На ряде месторождений и рудопроявлений фоновое содержание углекислого газа в подпочвенном воздухе составляло 0,4—0,6%, а аномальные концентрации его — в основном 2,0—5,0%. В отдельных случаях аномальные концентрации углекислого газа в подпочвенном воздухе достигали 10—14% (коэффициент контрастности достигал 28). Фоновое содержание метана в подпочвенном воздухе составляло сотые — первые десятые доли процента. Аномальные концентрации его обычно не превышали 1—1,5% и лишь в единичных случаях достигали 2,5—3,0%. Увеличение содержания метана в подпочвенном воздухе месторождений, так же как и углекислого газа, отмечалось над разрывными нарушениями и зонами повышенной трещиноватости пород, являющихся основными местами скопления природных газов.

Значительный интерес представляет различие в аномальных концентрациях углекислого газа в подпочвенном воздухе над зонами смятия и дробления пород в зависимости от преобладания в последних той или иной минерализации. Так, на одном из месторождений, расположенном на северном склоне Главного Кавказского хребта, над зонами с преобладанием кальцитовой минерализации концентрация углекислого газа в подпочвенном воздухе невелика и колеблется от 0,7 до 0,9—1,2%.

а над зонами дробления и смятия, в которых преобладает диккитовая минерализация, концентрация его в 2—3 раза выше (рис. 18). Такое различие в величине аномальных концентраций углекислого газа имеет важное практическое значение, так как на ртутных месторождениях Северо-Западного Кавказа киноварь генетически связана с диккитовой минерализацией.

Большое количество углекислого газа в подпочвенном воздухе отмечается над рудными телами. Так, на одном из ртутных месторождений концентрация углекислого газа в пробах подпочвенного воздуха, отобранных в 70 м выше рудного тела, достигала 2,7% (коэффициент контрастности 5,4). Характерно, что высокие концентрации углекислого газа и метана были зафиксированы в горных выработках в пределах этого же рудного тела, особенно у контактов с вмещающими породами. Это указывает на то, что по результатам газовой съемки можно судить также о наличии слепых рудных тел. Кроме того, данные газовой съемки позволяют выявлять участки месторождений и отдельные структуры, в пределах которых можно ожидать интенсивное поступление природных газов в атмосферу горных выработок и, следовательно, заблаговременно предусматривать мероприятия, обеспечивающие безопасность ведения горных работ.

Поток углекислого газа по разрывным нарушениям довольно устойчивый. Так, концентрация его в пробах подпочвенного воздуха, отобранных по одним и тем же профилям через значительный период времени, хорошо совпадала (на ртутных месторождениях различия в основном не превышали первых десятых долей процента). Содержание метана было еще более постоянным. Небольшие изменения содержания углекислого газа в подпочвенном воздухе в значительной степени обусловлены сезонными колебаниями количества выпадающих осадков и атмосферного давления. Аналогичные изменения концентрации углекислого газа в подпочвенном воздухе над рудными телами и разрывными нарушениями были установлены В. С. Глебовской и С. С. Глебовским (1960) и Н. Н. Куликовой (1961).

Значительный интерес представляют данные о содержании углекислого газа в подпочвенном воздухе, полученные как непосредственно в день Анапского землетря-

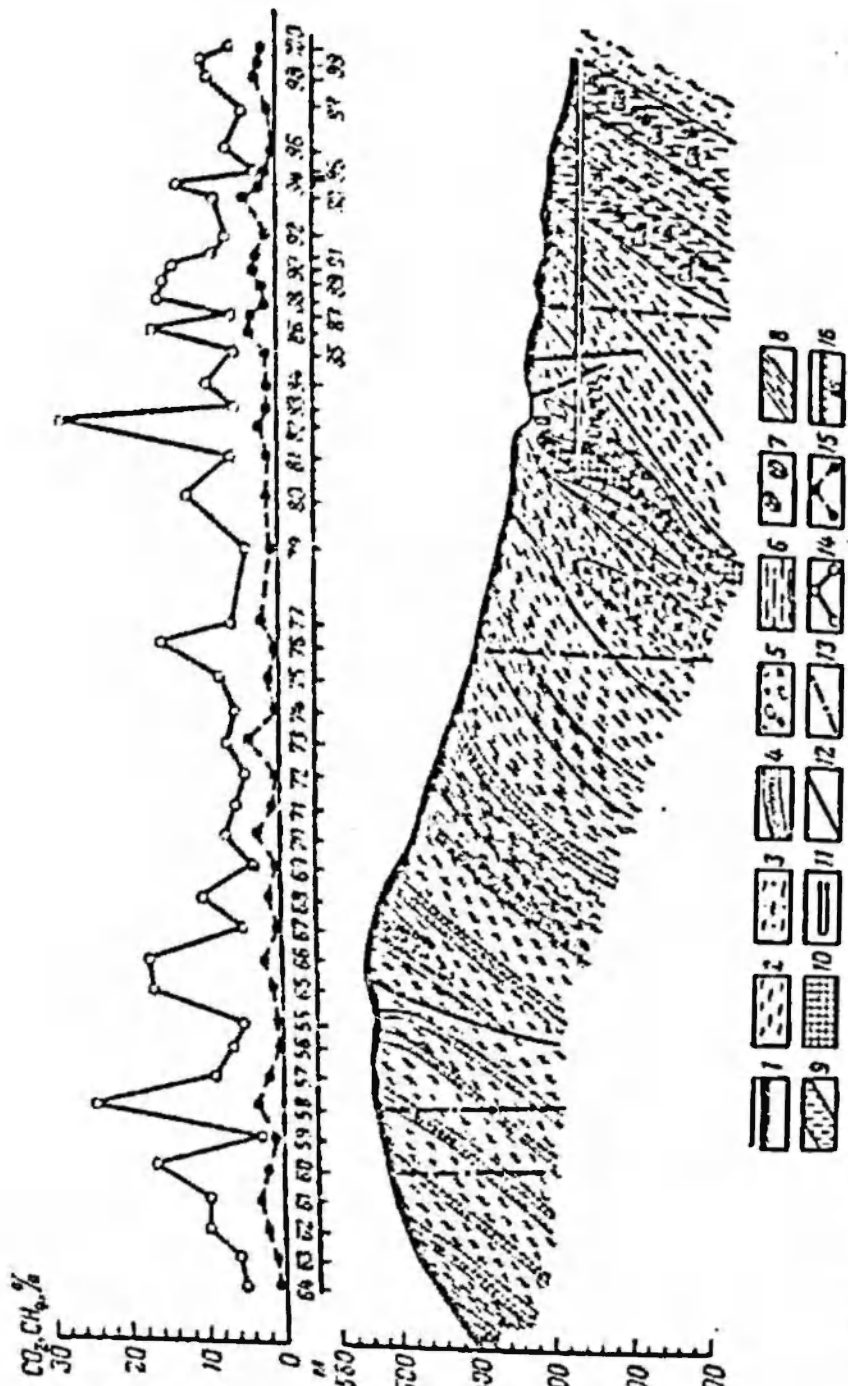


Рис. 18. Геологический разрез и график содержания газа и метана в подпочвенном воздухе Сахалинского месторождения (Северо-Западный Кавказ)

1—четвертичные отложения; 2—глины; 3—глины с прослоями алевролитов; 4—песчанники; 5—конгломераты; 6—сидериты; 7—вадуны верхнеюрских известняков; 8—зона смятия и интенсивной трещиноватости пород с преобладающей дикитовой минерализацией; 9—зона смятия и интенсивной трещиноватости пород с преобладанием кальцитовой минерализации; 10—видимое ртутное оружие; 11—штольня; 12—разрывные нарушения, установленные геологическими съемкой; 13—предлагаемые зоны разрывных нарушений, выявленные поперечной газовой съемкой; 14—кривая содержания углекислого газа в подпочвенном воздухе; 15—кривая содержания метана в подпочвенном воздухе; 16—точки отбора газовой пробы в подпочвенном воздухе; А—дикитизация, Са—кальцитизация, Q—окварцевание; CH₄ + CO₂—зона повышенного выделения углекислого газа и метана в горной выработке.

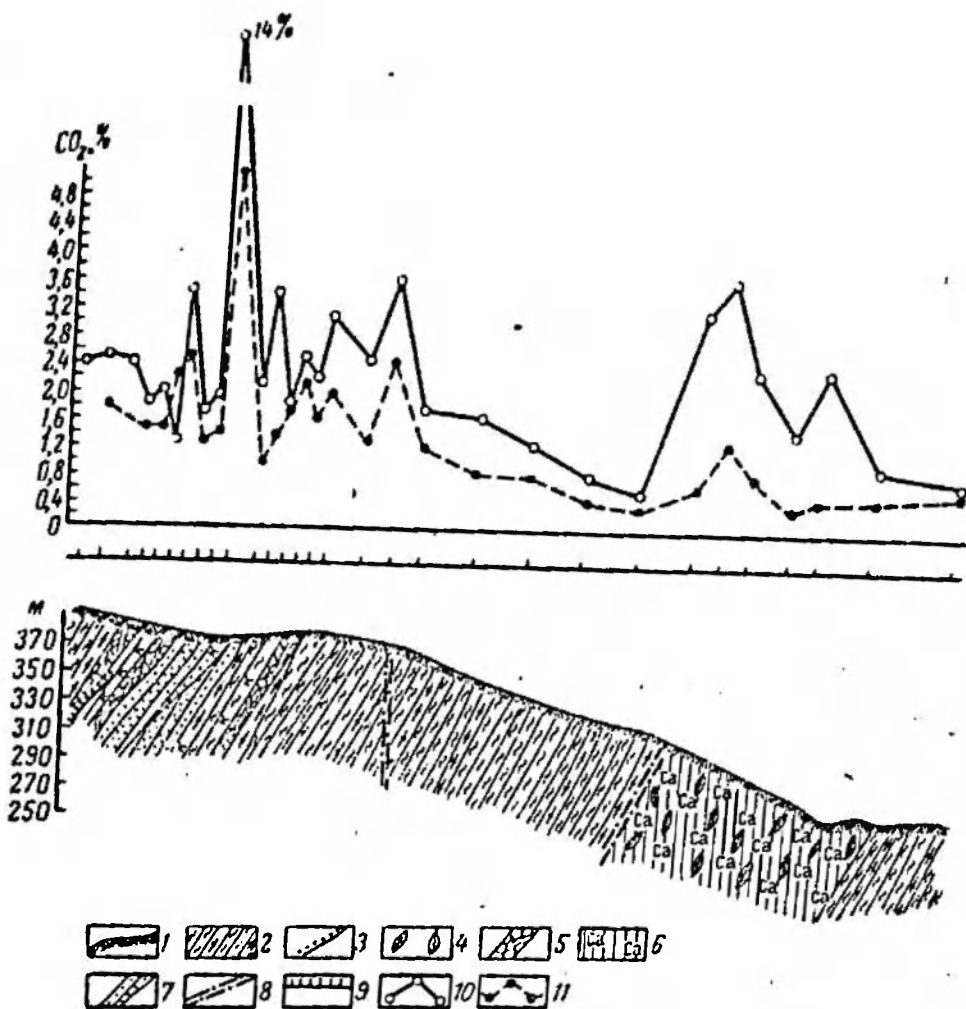


Рис. 19. Изменение содержания углекислого газа в подпочвенном воздухе наносов Сахалинского месторождения (Северо-Западный Кавказ).

1—делювиальные и элювиальные отложения; 2—переслаивающиеся глины и песчаники с прослоями алевритов и сидеритов; 3—отдельные прослои песчаника; 4—валуны верхнеюрских известняков; 5—зона смятия и интенсивной трещиноватости пород с преобладающей диккитовой минерализацией; 6—зона смятия и интенсивной трещиноватости пород с преобладающей кальцитовой минерализацией; 7—рудоносные зоны; 8—предполагаемые зоны разрывных нарушений, выявленные поверхностной газовой съемкой; 9—точки отбора газовых проб; 10—кривая содержания углекислого газа (в день землетрясения); 11—кривая содержания углекислого газа через два месяца после землетрясения.

сения (12 июля 1966 г.) силой 5—6 баллов, так и через два месяца после него по рядом расположенным точкам одного и того же профиля. В день землетрясения породы были вовлечены в его подготовку, вследствие чего часть трещин была подновлена и приоткрыта. Это обусловило более интенсивный подток газов. Так, содержание углекислого газа в отдельных пробах достигало 5

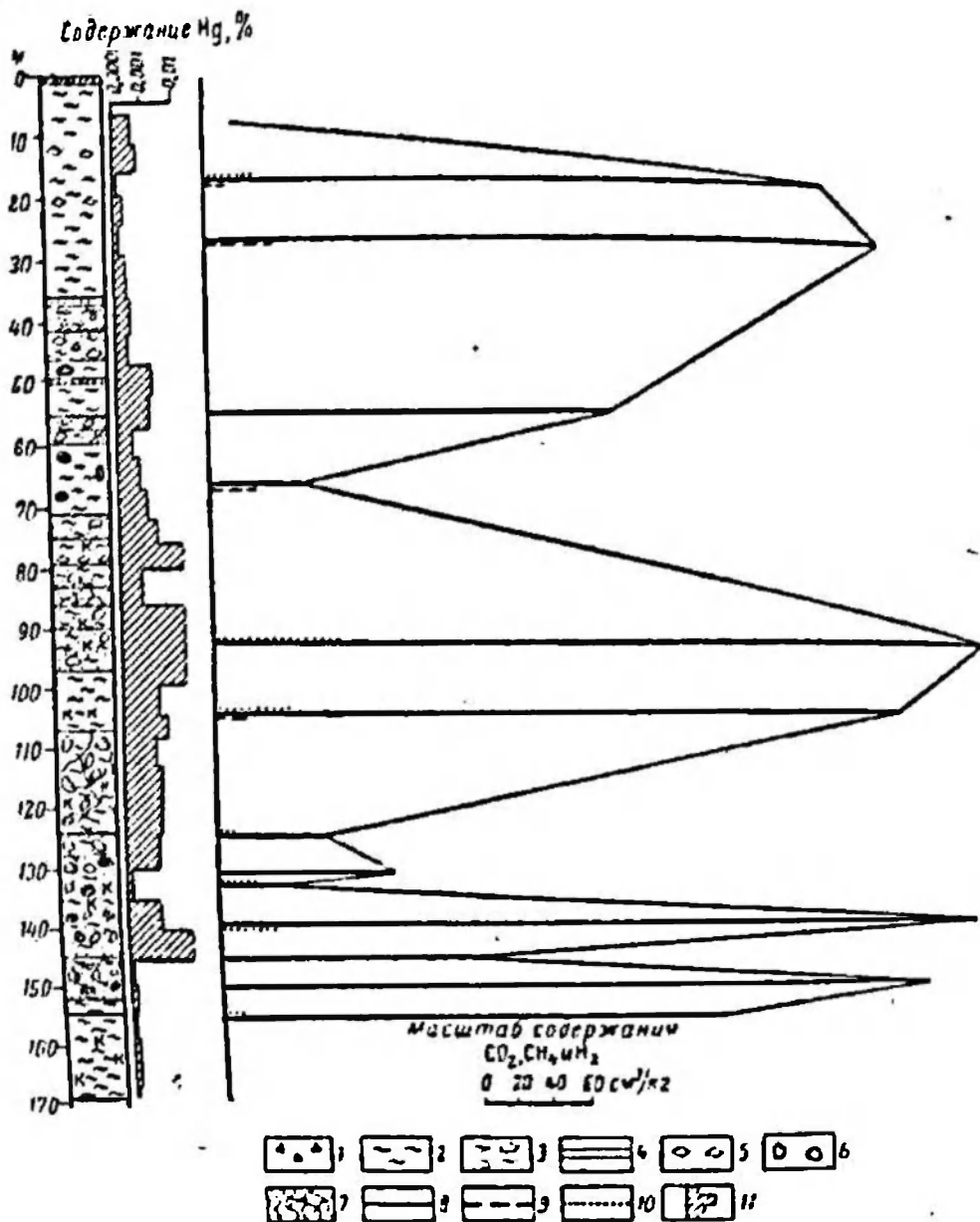


Рис. 20. Содержание газовых компонентов, сигментических породам и рудам (Перевальное месторождение ртути)

1—делювиально-элювиальные отложения; 2—алевритистая глина; 3—брекчия; 4—прослой песчаника; 5—кальцит; 6—включения сидерита; 7—трещины; 8—содержание углекислого газа в пробах пород; 9—содержание метана в пробах; 10—содержание водорода в пробах керна; 11—содержание ртути; К—диккит.

и даже 14%. Вторично проведенная через два месяца газовая съемка подтвердила выявленные аномалии над разрывными нарушениями и рудоносными зонами, однако концентрация газов уменьшилась в 1,4—2,8 раза (рис. 19).

Таким образом, результаты газовой съемки, проведенной на различных рудных месторождениях, указывают на перспективность применения ее в качестве одного из поисковых методов. В каждом конкретном случае она должна проводиться по определенным газовым компонентам-индикаторам, которые являются косвенными признаками оруденения.

При определении геохимических и физико-химических условий рудообразования и локализации рудных тел следует изучать состав и количество газов, сингенетичных рудам и вмещающим породам (эндогенные газовые ореолы).

Установлено, что на ряде медноколчеданных месторождений Северного Кавказа как в самих рудных телах, так и вблизи контакта с ними во вмещающих породах отмечались повышенные концентрации сероводорода и в ряде случаев сернистого газа.

В газах, сингенетичных породам и рудам ртутных месторождений Северо-Западного Кавказа, содержатся те же компоненты, которые находятся в породах до их измельчения, растворены в подземных водах и выделяются в свободном состоянии (газовые струи). Однако в отличие от них водород и в большинстве случаев углекислый газ в эндогенных ореолах встречаются чаще в значительно больших количествах.

Сопоставление содержания водорода и углекислого газа с концентрацией ртути в породах показывает, что между ними отмечается довольно четкая связь: повышенным содержаниям ртути соответствуют повышенные количества водорода. Для углекислого газа эта закономерность выражена менее отчетливо. На рис. 20 в разрезе скважины выделены два интервала повышенного содержания водорода и углекислого газа, которые ограничивают участки аномальных (более 0,01 %) концентраций ртути. Так, для верхнего интервала (86,1—99,0 м) с повышенным содержанием ртути количество водорода составляло $8,3 \text{ см}^3$ на 1 кг породы, а углекислого газа — $74,5 \text{ см}^3/\text{кг}$. Точно так же для нижнего интервала повышенных концентраций ртути (139,9—144,9 м) содержание водорода достигало $3,8 \text{ см}^3$ на 1 кг породы углекислого газа — $96,4 \text{ см}^3/\text{кг}$. Участки с повышенным содержанием водорода и углекислого газа

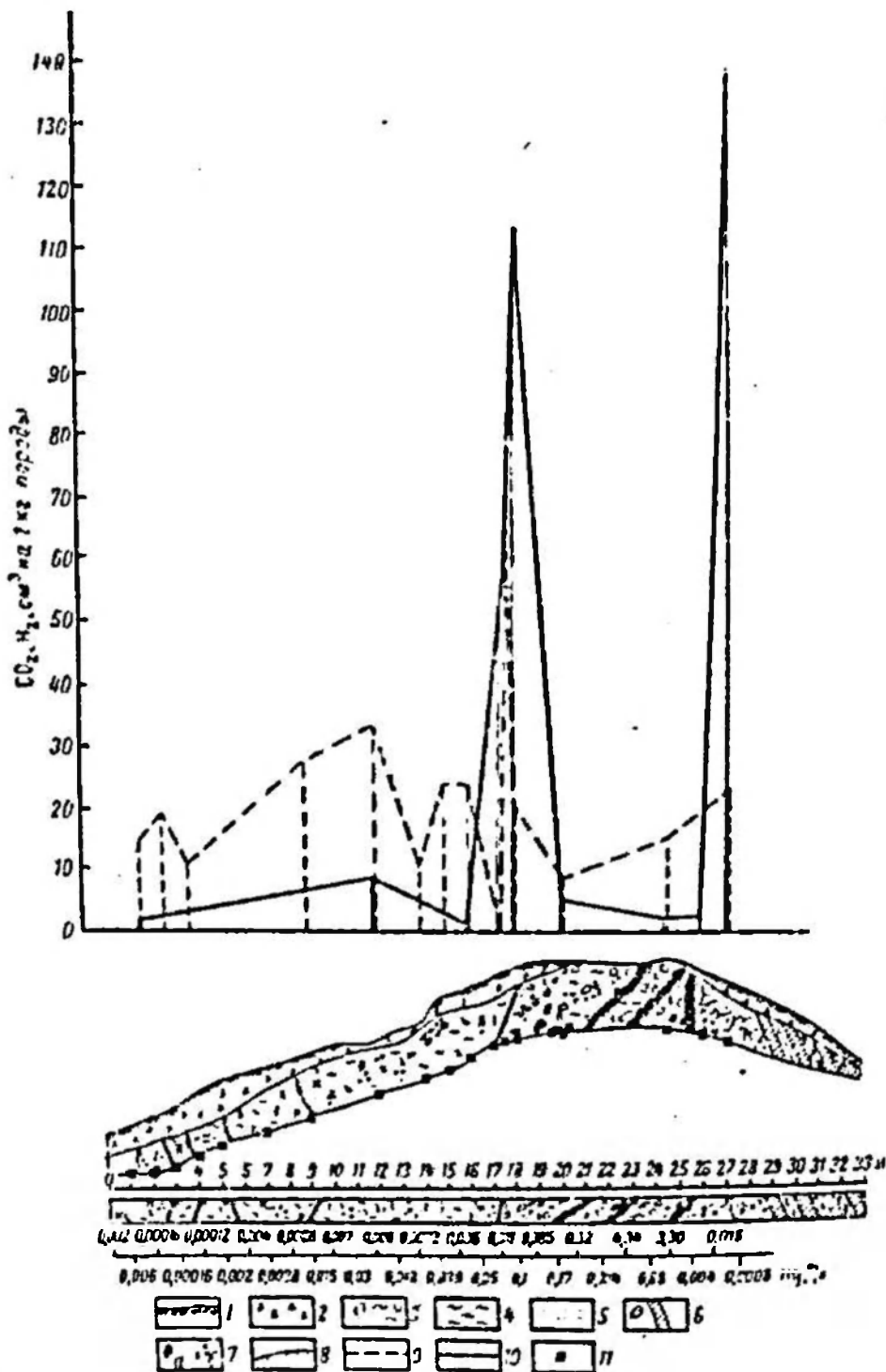


Рис. 21. Содержание природных газов (CO_2 , H_2) в породах и рудах Перевального месторождения ртути.

1—почвенно-растительный слой; 2—делювиально-элювиальные образования; 3—брекчия на песчано-глинистом цементе; 4—глина алевролитовая, местами аргиллитизированная; 5—прослой песчанка; 6—прослой линзы конкреции сидерита; 7—обогащенные киноварью участки (а) и вкрапленность киновари в породе (б); 8—тектонические нарушения; 9—кривая содержания углекислого газа; 10—кривая содержания водорода; 11—место отбора пробы; К—диккит; Л—лимонит.

шире интервалов с аномальными концентрациями ртути примерно на 10—15 м.

Интересные результаты были получены также при изучении газов, заключенных в замкнутых порах и микротрещинах образцов пород, отобранных по одной из канав Перевального месторождения, вскрывшей зону богатых руд (рис. 21). В связи со значительной гидротермальной проработкой пород водород распространен гораздо шире и был обнаружен примерно в 50% проб, причем во всех случаях он приурочен к зонам разрывных нарушений и участкам, обогащенным киноварью. Большая концентрация водорода была отмечена в зоне рудоносного разлома вблизи контактов рудного тела с вмещающими породами. Так, в пробе, отобранной вблизи контакта глин с рудоносными брекчированными фангломератами, количество водорода составляло $55,7 \text{ см}^3$ на 1 кг породы, а в пробе фангломератов, взятой в лежащем боку сброса (0,25 м от контакта), — $114,5 \text{ см}^3/\text{кг}$. Еще более высокое содержание водорода ($144,0 \text{ см}^3$ на 1 кг породы) было в пробе аргиллитизированной глины, отобранной в лежащем боку рудоносного разлома в 1,5 м от плоскости сместителя. До $129,0 \text{ см}^3/\text{кг}$ водорода и до $222 \text{ см}^3/\text{кг}$ углекислого газа содержалось в ряде проб рудоносных фангломератов, отобранных по скважинам и выработкам этого же месторождения.

Присутствие столь больших количеств водорода в породах — явление редкое и безусловно заслуживает серьезного внимания. Концентрация его в зоне Главного рудоносного разлома, являющегося для месторождения рудовмещающим, свидетельствует о генетической связи водорода с рудоносными гидротермальными растворами. По всей вероятности, основное количество водорода, связанное с поступлением рудоносных гидротерм, было локализовано в непосредственной близости от него благодаря экранирующей роли практически непроницаемых глин. Значительные концентрации водорода приурочены также к участкам локализации киновари.

Аналогичное явление было отмечено также на Сахалинском ртутном месторождении, расположенном на северном склоне Главного Кавказского хребта. Как и на других ртутных месторождениях Северо-Западного Кавказа, максимальное содержание водорода было установлено в пределах рудного тела и достигало $23,6$ —

27,0 см³ на 1 кг породы, или 23,0—29,3%; среднее содержание его в рудном теле составляло 4,4 см³/кг. За пределами рудного тела вдали от контактов водород был обнаружен лишь в единичных пробах глинистых пород (среднее содержание его 0,9 см³/кг или в 5 раз меньше, чем в породах рудного тела). Максимальное содержание водорода в рудном теле в 9—10 раз больше, чем во вмещающих породах. Такая закономерность характерна и для некоторых других ртутных месторождений Советского Союза. В частности, на одном из ртутных месторождений Чукотки повышенные концентрации водорода отмечались в образцах пород, обогащенных кинобарью. С уменьшением содержания ртути уменьшалась и концентрация водорода.

Таким образом, связь состава эндогенных газовых ореолов с рудной минерализацией позволяет использовать отдельные газовые компоненты в качестве геохимических индикаторов.

Природные газы могут быть использованы также для решения ряда геологических задач. По данным И. А. Петерсилье (1964), результаты изучения газовой составляющей железистых кварцитов и вмещающих их гнейсов Оленегорского железорудного месторождения (Кольский полуостров) указывают на резкие различия в условиях их формирования. Отсутствие в кварцитах даже небольших количеств метана и такого высокотемпературного газа, как водород, свидетельствует, по его мнению, о том, что при формировании железистых кварцитов отсутствовала мощная непроницаемая покрывка, которая могла бы препятствовать улетучиванию газов из пород в момент их образования, т. е. отложение железисто-кремнистых осадков происходило в приповерхностных условиях. Впоследствии эти отложения подверглись метаморфизму при сравнительно низких температурах.

Сходство состава газов пегматитов и аплитовидных гранитов, развитых в железистых кварцитах, с составом газов последних, а также еще меньшее газосодержание пегматитов и аплитовидных гранитов позволили И. А. Петерсилье предположить, что эти породы образовались в результате метасоматоза железистых кварцитов. Весьма интересные выводы были сделаны И. А. Петерсилье в результате изучения газовой составляющей щелочных пород различных массивов Кольского полуострова, от-

личающихся друг от друга как по условиям формирования, так и генезису. К типу явно интрузивных он отнес щелочные породы Хибинского и Ловозерского массивов, характеризующихся высоким содержанием метана, тяжелых углеводородов (несколько процентов) и водорода, ко второму типу — породы мелких массивов ультраосновных и щелочных пород Ковдорского, Африкандского массивов, а также интрузии ультраосновных — основных — щелочных пород Гремяхи-Вырмеса. В породах этих массивов отсутствует или содержится в весьма небольшом количестве метан и почти полностью отсутствуют тяжелые углеводородные газы, т. е. по составу газовой фазы они почти не отличаются от ультраосновных пород, слагающих центральные части интрузий. Это позволило И. А. Петерсилье предположить, что эти щелочные породы образовались в результате метасоматического изменения ультраосновных пород. Последнее подтверждается и рядом других геологических данных. Таким образом, зная состав газов щелочных пород, можно изучать условия образования интрузий, определять их возраст и т. д.

Большую помощь при решении вопросов о времени и условиях образования рудных тел и вмещающих их изверженных пород оказывает изучение газовой составляющей газовой-жидких включений в минералах. Исследования Н. П. Ермакова, Г. Г. Леммлейна и др. показали, что газовой-жидкие включения характеризуют среду (геохимические и физико-химические условия), в которой происходило образование отдельных минералов и месторождений в целом. Кроме того, зная газовый состав включений, можно получить более полное представление о составе минералообразующих растворов различных этапов и стадий, так как основная масса газов минералов, по-видимому, сосредоточена во включениях остатков минералообразующих растворов. В частности, М. М. Элинсон и В. Д. Сазонов (1966) на основании проведенных исследований газов в минералах из месторождений Курусайского рудного поля в Кармазаре установили, что состав газов минералов довольно точно отражает характер минералообразующей среды. Например, в гранатах, образовавшихся в условиях, когда восстановительные и щелочные свойства пневматолитовых растворов изменялись до нейтральных и кислых, углекислый

Из преобладал над водородом: $\frac{H_2}{CO_2} = 0,6$. Сфалерит I генерации, возникший в пневматолитовую стадию из растворов со щелочными и восстановительными свойствами, характеризуется, наоборот, преобладанием водорода: $\frac{H_2}{CO_2} = 2,9$. И, наконец, в кальците, генерировавшемся в гидротермальную стадию из растворов с сильным окислительным потенциалом и слабокислой реакцией, также углекислый газ преобладает: $\frac{H_2}{CO_2} = 0,3$. В газовом составе минералов, последовательно образовавшихся в одну и ту же стадию, наблюдаются аналогичные изменения. Отношение $\frac{H_2}{CO_2}$ в них уменьшается так же, как и их общая газонасыщенность.

М. М. Элинсон установила также зависимость между газосодержанием минералов, наличием в них водорода, углекислого газа и некоторых других компонентов, температурой и свойствами минералообразующих пневматолитово-гидротермальных растворов. В минералах, выпавших из высокотемпературных пневматолитовых растворов, содержание водорода обычно высокое.

В газовой-жидких включениях, содержащихся в минералах щелочных пород Ловозерского и Хибинского массивов, установлены значительные количества углеводородных газов и даже жидких битумов (Закржевская, 1964; Икорский, 1961). Генетическая связь этих газовой-жидких включений с породообразующими минералами является одним из веских доказательств неорганического происхождения углеводородных газов и битумов и сингенетичности их с вмещающими породами.

Полученные результаты изучения состава газов и температуры гомогенизации газовой-жидких включений гидротермальных минералов ртутных месторождений Северо-Западного Кавказа позволили уточнить условия рудообразования. В частности, установлено, что диапазон температуры, при которой происходило отложение киновари из гидротермальных растворов, довольно узкий (в основном 80—150°C). Наличие в составе газовой-жидких включений водорода и углекислого газа является доказательством их генетической связи с рудоносными гидротермами.

Все вышесказанное свидетельствует о том, что природные газы могут быть использованы в качестве поисковых признаков рудных месторождений и для решения ряда других геологических задач. Возможности применения газовой и в отдельных случаях газокерновой съемки для поисков рудных месторождений полезных ископаемых еще недостаточно изучены, однако уже сейчас очевидна перспектива их широкого использования в практике геологоразведочных работ. Дальнейшие исследования в этой области, несомненно, расширят границы их применения.

Следует помнить, что методы изучения природных газов, которые будут применяться для решения различных геолого-геохимических задач, не универсальны. В каждом конкретном случае необходимо учитывать геологическую обстановку, обуславливающую целесообразность применения того или иного метода, а также использования определенного газового компонента в качестве геохимического индикатора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные в настоящей работе материалы по составу, геологии и геохимии природных газов рудных месторождений имеют значение для решения важных геологических вопросов и проблем.

Изучение связи состава газов с рудными телами, залегающими в различных геолого-геохимических условиях, позволяет использовать отдельные газовые компоненты в качестве геохимических индикаторов при поисках рудных полезных ископаемых и решения ряда геологических задач: выяснение структурно-тектонического строения, установление физико-химических особенностей среды, в которой происходило образование отдельных минералов и месторождений в целом и т. д.

В настоящее время в нашей стране в небольшом объеме начаты исследования по применению методов газовой и газокерновой съемки для поисков рудных полезных ископаемых. Несмотря на то, что до конца не выяснены возможности указанных методов при поисках рудных месторождений и еще не разработана аналитическая аппаратура для полевых экспрессных определений ряда газовых компонентов (H_2S , SO_2 , He, Ar и не-

которых других), перспективы и экономический эффект их очевидны. Настало время организовать в более широком масштабе специальные геохимические исследования природных газов рудных месторождений для разработки и совершенствования методик и внедрения их в практику поисково-разведочных работ. В связи с этим целесообразно в самое ближайшее время создать при научно-исследовательских организациях Министерства геологии СССР специализированные лаборатории по изучению газов земной коры, одной из задач которых будет исследование возможности использования природных газов в качестве поисковых геохимических критериев.

Не менее важное значение приобретает исследование природных газов рудных месторождений в связи с интенсификацией горных работ, механизацией процессов добычи, применением систем разработки с массовым извлечением руды и, наконец, вскрытием и отработкой более глубоких горизонтов, когда вместо редких локальных и эпизодических газовыделений в горных выработках стало наблюдаться резкое увеличение таких случаев. Последнее повлекло за собой увеличение количества поступающих в рудничную атмосферу газов. Обобщение всего имеющегося материала по данному вопросу и, следовательно, знание геологических условий распределения и приуроченности природных газов, их состава и характера выделения в горные выработки позволяет прогнозировать интенсивность возможных газовыделений в рудничную атмосферу и предусматривать мероприятия для создания безопасных условий ведения эксплуатационных работ.

Проведенные исследования состава, происхождения и распределения природных газов рудных месторождений позволяют сделать некоторые предположения о происхождении нефти и газа. Изучение условий образования горючих газов и битумов месторождений, приуроченных к изверженным и метаморфическим породам, убедительно показало, что в благоприятных условиях возможно образование значительных количеств углеводородных газов (включая и тяжелые гомологи метана), а также битуминозного вещества в результате неорганического синтеза. Однако преобладание углеводородных газов, жидких и твердых битумов в месторождениях, которые залегают среди осадочных пород, обогащенных органическим ве-

ществом, по нашему мнению, указывает на органическое происхождение основных промышленных количеств нефти и газа.

Дальнейшие исследования в области геологии и геохимии природных газов рудных месторождений позволят получить дополнительные данные, которые помогут решить столь сложную проблему, являющуюся одной из важнейших и интереснейших в естествознании.

ЛИТЕРАТУРА

Антипов Г. И. Битумы в траппах Сибирской платформы, «Советская геология», сб. 61, 1957.

Багрицева К. И., Козловцева З. И. К вопросу определения сорбционной способности пород-коллекторов по отношению к металлу. В сб. «Физика газовых пластов (коллекторские свойства)». Тр. ВНИИГаз, вып. 20/28, 1964.

Балицкий В. С. О нахождении битумов в ртутных и ртутно-сурьмяных месторождениях Северо-Западного Кавказа. «Советская геология», № 3, 1966.

Башарина А. А. Вулканические газы на различных стадиях активности вулканов. Тр. лаборатории вулканологии АН СССР, вып. 19, 1961.

Белоусов В. В. Очерки геохимии природных газов. ОНТИ, 1937.

Бескровный И. С. Геологические условия нефтепроявлений в вулканических трубках Сибирской платформы. Тр. ВНИГРИ, вып. 163, 1960.

Бескровный И. С. Нефтяные битумы и углеводородные газы как спутники гидротермальной постмагматической деятельности. Автореферат. Изд. ВНИГРИ, 1965.

Бескровный И. С. Нефтяные битумы и углеводородные газы как спутники гидротермальной деятельности. Тр. ВНИГРИ, вып. 258, 1967.

Болотникова И. В. Опыт применения газовой съемки при поисках глубокозалегающих полиметаллических месторождений. Сб. ВИТР «Методика и техника разведки», № 50, 1965.

Быховер И. А. Основные базы минерального сырья капиталистических стран. «Разведка и охрана недр», № 7, 1961.

Васильев В. Г., Ковальский В. В., Черкесский Н. В. Гипотеза органического происхождения алмазов. Тр. Якутского филиала Сибирского отделения АН СССР, сб. 14, «Геология и полезные ископаемые ЯАССР», 1962.

Вернадский В. И. О газовом обмене земной коры. Изв. Импер. Академии наук, № 2, 1912.

Вернадский В. И. О классификации природных газов. Природные газы, сб. 2, ГОНТИ, 1931.

- Вернадский В. И. Очерки геохимии. Госгеолнефтеиздат, 1934.
- Виноградов А. П. Химическая эволюция Земли. Изд. АН СССР, 1959.
- Виноградов А. П. Газовый режим Земли. Химия земной коры. Т. II. Изд. АН СССР, 1964.
- Виноградов А. П., Флоренский К. П., Волюнец В. Ф. Аммиак в метсоритах и изверженных горных породах. «Геохимия», № 10, 1963.
- Войтов Г. И. Газопроявления в рудниках. Рудничная аэрология. Изд. АН СССР, 1962.
- Войтов Г. И., Полянский М. Н., Фридман А. И. Характер газопоявлений в горных выработках рудников Хибинских апатито-нефелиновых месторождений. Изв. Высш. учебн. завед. Горный журнал, № 3, 1963.
- Волюнец В. Ф., Фридман А. И. Связанный азот в породах Хибинского щелочного массива. Изв. Высш. учебн. завед., серия «Геология и разведка», № 7, 1965.
- Временная инструкция по определению и прогнозу газоносности (метаноносности) угольных пластов при проведении геолого-разведочных работ. Изд-во «Недра», 1966.
- Высоцкий И. В. Основы геологии природного газа. Гостехиздат, 1954.
- Гинзбург И. И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков руд цветных и редких металлов. Госгеолтехиздат, 1957.
- Глебовская В. С., Глебовский С. С. О возможности применения газовой съемки для поисков сульфидных месторождений. Вопросы рудной геофизики, вып. 1. Госгеолтехиздат, 1960.
- Годлевский М. Н., Кравцов Г. С., Сливко В. М. Вопросы теплообмена интрузива и вмещающих пород и контактовый термометаморфизм углей вблизи трапповых интрузивов. «Геология и геофизика», № 2, 1962.
- Гофман М. В. Прикладная химия твердого топлива. Металлургиздат, 1963.
- Гуревич М. Г., Кац Г. В. Материалы к геохимической характеристике природных газов рудных месторождений Кавказа. Тр. Ин-та геол. рудн. местор. АН СССР, вып. 46, 1960.
- Данилова Т. Р. Газоносность Талнахского медно-никелевого месторождения Норильского района. Изв. Высш. учебн. завед., серия «Геология и разведка», № 7, 1964.
- Елисеев Н. А. Геологическая карта Хибинских тундр. ГОНТИ НКТП, 1939.
- Заварицкий А. И. Выделение газа из скважин в дунитовом массиве на Урале. Вестник Геологического комитета, № 5, 1925.
- Закржевская Н. Г. К вопросу о происхождении газов в породах апатитовых месторождений Хибин. ДАН СССР, т. 154, № 1, 1964.
- Зелинский Н. Д. Несколько замечаний к вопросу о происхождении нефти. Сб. к 50-летию научной и педагогической деятельности академика В. И. Вернадского. Изв. АН СССР, 1936.
- Зимаков Б. М. О влиянии степени метаморфизма углей на природную газоносность угольных пластов Печорского бассейна. Сб.

«Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока Европейской части СССР», вып. IV. Изд-во «Недра», 1965.

Зимаков Б. М., Степанов Ю. В. О нефтепроявлениях в угленосной толще и перспективах нефтеносности Воркутского района. Изв. Высш. учебн. завед., серия «Геология и разведка», № 7, 1965.

Иванов М. В., Ляликова Н. П., Кузнецов С. П. Роль тионовых бактерий в выветривании горных пород и сульфидных руд. Изв. АН СССР, серия «Биология», № 2, 1958.

Икорникова П. Ф. Кристаллизация магнетита и образование углеводородов в системе $\text{CaCO}_3\text{—NaCl—H}_2\text{O—Fe}$ при высоких температурах и давлениях. ДАН СССР, т. 130, № 3, 1960.

Икорский С. В. О некоторых включениях в нефелине горных пород Хибинского и Ловозерского щелочных массивов. Сб. «Материалы по минералогии Кольского полуострова». Изд. КФАН СССР, 1961.

Карцев А. А., Шугрин В. А. Геохимические методы исследований при поисках нефти и газа. Изд-во «Недра», 1964.

Карцев А. А., Могилевский Г. А., Суббота М. П., Табасаранский З. М. Геохимические методы поисков и разведки нефтяных и газовых месторождений. Гостоптехиздат, 1954.

Козлов А. Л. Проблемы геохимии природных газов. Гостоптехиздат, 1950.

Комлев Л. В., Михалевская А. Д., Данилевич С. П. О позросте щелочных интрузий Хибинских и Ловозерских тундр (Кольский полуостров). ДАН СССР, т. 136, № 1, 1961.

Кравцов А. П. Газоносность Хибинских апатито-нефелиновых месторождений. Сб. «Вопросы геологии, минералогии и петрографии Хибинских тундр». Изд. АН СССР, 1961.

Кравцов А. П. Основы геологии горячих ископаемых. Изд-во «Высшая школа», 1966.

Кравцов А. П., Войтов Г. П., Фридман А. П. и др. О содержании водорода в свободных струях в Хибинах. ДАН СССР, т. 177, № 5, 1967.

Крамаренко Л. Е. Состав и распределение микроорганизмов в подземных водах и их поисковое значение. Вопросы нефтепоисковой гидрогеологии. Гостоптехиздат, 1956.

Крым В. С. Химия твердого топлива. ОНТИ, 1936.

Кудрявцев П. А. Нефть, газ и твердые битумы в изверженных и метаморфических породах. Гостоптехиздат, 1959.

Куликова Н. П. Опыт проведения газокерновой съемки с целью обнаружения золоторудных месторождений балецкого типа. Бюлл. научно-техн. информ. Министерства геологии и охраны недр СССР, № 5 (33). Госгеолтехиздат, 1961.

Куликова Н. П. Газоносность Балецких рудных месторождений и некоторые закономерности распределения природных газов Забайкалья. Изв. Высш. учебн. завед., серия «Геология и разведка», № 6, 1964.

Лебедев В. С., Петерсилье Н. А. Изотопный состав углерода углеводородных газов и битума пород Кольского полуострова. ДАН СССР, т. 158, № 5, 1964.

Лидин Г. Д. Газообильность каменноугольных шахт СССР. Т. I. Изд-во АН СССР, 1949.

Лидни Г. Д., Жмурко П. Г., Садовский Н. Г. и др. Изыскание методов дегазации нижнего блока рудника «Заполярный». Изд. ИГД им. А. А. Скочинского, 1963.

Лидни Г. Д., Матвиенко Н. Г., Шершуков В. В. и др. Газообильность каменноугольных шахт и полиметаллических рудников Норильского района. Газообильность каменноугольных шахт СССР. Т. VI. Изд-во «Наука», 1966.

Линде И. Ф. О природных газах в горных породах Хибинского щелочного массива. Изв. Высш. учебн. завед., серия «Геология и разведка», № 5, 1961.

Макаров К. К. Новые данные о нефтепроявлениях в районе алмазного месторождения трубки «Удачная» (р. Далдын, Восточная Сибирь). ДАН СССР, т. 134, № 3, 1960.

Масуренков Ю. П., Пантелеев И. Я. Современная деятельность вулкана Эльбрус. ДАН СССР, т. 142, № 6, 1962.

Мехтнева В. Л., Фридман А. И. Результаты микробиологического исследования пород и подземных вод района Урупских месторождений. Изв. АН СССР, серия «микробиология», т. XXX, № 5, 1961.

Минский Н. А., Сондов Н. Н. К вопросу о происхождении битуминозного вещества в интрузивных породах. «Геология нефти и газа», № 5, 1961.

Набоко С. И. Вулканические эксгаляции и продукты их реакций. Тр. лабор. вулканологии АН СССР, № 16, 1959.

Набоко С. И., Рябичкина Е. П. О составе некоторых конденсатов сольфатарных газов. Бюлл. вулканологической станции АН СССР, № 26, 1957.

Несмелова З. Н. Геохимические особенности газов соленосных пород. Тр. ВНИГРИ, вып. 174, 1961.

Нетреба А. В., Платонов К. В. Ртутно-сурьмяное оруденение Северо-Западного Кавказа. Уч. записки САИГИМСа, вып. 6, 1961.

Никогосян Х. С. Некоторые данные по изучению газовой составляющей горных пород. Тр. 3-го совещ. по эксперимент. петрографии и минералогии АН СССР, 1940.

Новик-Качан В. П. О происхождении углекислого газа в подземных водах. «Советская геология», сб. 56. Госгеолтехиздат, 1956.

Петерсилье И. А. Органическое вещество в изверженных и метаморфических горных породах Кольского полуострова. Сб. «Химия земной коры», т. 1. Изд. АН СССР, 1963.

Петерсилье И. А. Геология и геохимия природных газов и дисперсных битумов некоторых геологических формаций Кольского полуострова. Изд-во «Наука», 1964.

Петровская Н. В., Бернштейн П. С., Мирчинк С. Г., Андреева М. Г. Геологическое строение, минералогия и особенности генезиса золоторудных месторождений Балейского рудного поля (Восточное Забайкалье). Тр. ЦНИГРИ, вып. 45, 1961.

Пиковский Ю. И., Гусева А. Н. О битумопроявлениях в вулканической трубке Ангаро-Чунского района (Октябрьское железорудное месторождение). Изв. АН СССР, сер. геол., № 2, 1963.

Полянский М. Н. О природных газах изверженных пород и условиях их образования. Изв. Высш. учебн. завед., сер. «Геология и разведка», № 3, 1965.

- Рассел У. Л. Основы нефтяной геологии. Гостоптехиздат, 1958.
- Римский-Корсаков Е. В. Поверхностная газозая съемка — метод поисков месторождений самородной серы. Тр. совещ. по геохим. методам АН СССР, 1959.
- Ронов Б. А. Органический углерод в осадочных породах Русской платформы. Геохимические методы поисков нефтяных и газовых месторождений. Изд-во АН СССР, 1959.
- Савченко В. П. Законы, управляющие системой жидкость + газы, и их приложение для выяснения генезиса природных газов. «Природные газы», № 11, 1936.
- Савченко В. П. Об образовании свободного водорода в земной коре, обусловленном восстановительным действием продуктов радиоактивного превращения изотопов. «Геохимия», № 1, 1958.
- Сауков А. А. Геохимия ртути. Изд-во АН СССР, 1946.
- Сауков А. А. Геохимия. Гостеолитиздат, 1951.
- Сауков А. А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. Изд. МГУ, 1963.
- Скочинский А. А. Рудничная атмосфера, ОНТИ, 1932.
- Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. Изд-во АН СССР, 1951.
- Соколов В. А. Очерки генезиса нефти. Гостоптехиздат, 1948.
- Соколов В. А. Миграция нефти и газа. Изд-во АН СССР, 1956.
- Соколов В. А. Процессы образования и миграции нефти и газа. Изд-во «Недра», 1965.
- Соколов В. А. Геохимия газов земной коры и атмосферы. Изд-во «Недра», 1966.
- Соколов В. А., Юровский Ю. М. Теория и практика газового каротажа. Гостоптехиздат, 1961.
- Соколов В. А., Григорьев Г. Г. Методика и результаты газовых геохимических нефтегазописковых работ. Гостоптехиздат, 1962.
- Соколов В. А., Фридман А. И. Водород в природных газах и его практическое значение в качестве геохимического показателя. ЦИТИ, Нефтегазовая геология и геофизика. Научно-техн. сборник № 4, ЦНИИТЭнефтегаз, 1965.
- Сорокин Ю. П. К вопросу о способности сульфатвосстанавливающих бактерий использовать метан для восстановления сульфатов до сероводорода. ДАН СССР, т. 115, № 4, 1957.
- Теодорович Г. П. Учение об осадочных породах. Гостоптехиздат, 1958.
- Уайт Д. Е., Уоринг Г. А. Вулканические эманации. Сб. «Геохимия современных поствулканических процессов». Изд-во «Мир», 1965.
- Флоренский К. П. Классификация природных газов по признакам, диагностирующим их происхождение. «Геохимия», № 8, 1957.
- Фридман А. И. Геология и геохимия природных газов Урупских медноколчеданных месторождений (Северный Кавказ). Изв. Высш. учебн. завед., серия «Геология и разведка», № 9, 1959.
- Фридман А. И. Геологические условия газоносности некоторых медноколчеданных месторождений в центральной части Север-

ного Кавказа. Изв. Высш. учебн. завед., серия «Геология и разведка», № 12, 1961.

Фридман А. И. Газоносность некоторых месторождений полезных ископаемых, связанных с изверженными породами. Тр. МГРИ им. С. Орджоникидзе, т. XXXVII, 1961а.

Фридман А. И. Газоносность и характер выделения горючих газов в горные выработки Урупских медноколчеданных месторождений. Изв. Высш. учебн. завед., Горный журнал, № 8, 1964.

Фридман А. И. О применении методов исследования природных газов для поисков и изучения геологического строения рудных месторождений. «Разведка и охрана недр», № 4, 1964а.

Фридман А. И., Линде И. Ф. Новые данные о наличии и приуроченности скоплений горючих газов в породах Хибинских апатитовых месторождений. Сб. «Хибинские апатитовые месторождения». Изд-во «Недра», 1965.

Хайретдинов И. А., Докукин Г. П., Прохоров В. П., Сверлова В. Н. Применение газового опробования к поискам сульфидных залежей в разрывных нарушениях Восточного Саяна. «Геология и разведка», № 10, 1965.

Ханин А. А. Коллекторы нефти и газа месторождений СССР. Гостоптехиздат, 1962.

Ханин А. А. Остаточная вода в коллекторах нефти и газа. Гостоптехиздат, 1963.

Хмелевская Л. В. Глубинный водород и его роль в генезисе нефти. Изв. АН СССР, сер. геол., № 4, 1947.

Черепеников А. А. Химический состав природного газа из массивнокристаллических пород на Урале. Вест. Геол. комитета, № 5, 1925.

Черепеников А. А. Водород в природных газах и, в частности, в эффузивных породах в Ириклинском ущелье на Южном Урале. Сборник, посвященный 50-летию научной и педагогической деятельности В. И. Вернадского, Изд. АН СССР, 1936.

Шершуков В. В., Матвиевко Н. Г., Войтов Г. И. О природе газовой выделения на шахте «Западная» месторождения Бестюбе и мерах по обеспечению безопасности ведения горных работ. Сб. «Рудничная аэрология». Изд. АН СССР, 1963.

Щербак В. П. Некоторые геохимические черты газоносности Эльбрусской области. «Геохимия», № 7, 1965.

Элинсон М. М. Результаты применения комплексного метода определения газоносности угольных пластов при разведочном бурении с использованием газового каротажа. Сб. «Методы определения газоносности угольных пластов и прогноза газообильности шахт». Госгортехиздат, 1962.

Элинсон М. М. Испытание газообразных горючих ископаемых. В кн.: В. С. Веселовского «Испытание горючих ископаемых». Госгеолтехиздат, 1963.

Элинсон М. М., Сазонов Ю. Д. Результаты исследования содержания газов в минералах из месторождений Курусайского рудного поля в Кармазаре. Изв. Высш. учебн. завед., «Геология и разведка», № 4, 1966.

Якуценко В. П. Закономерности формирования залежей глинистых газов. Гостоптехиздат, 1963.

Askermann Y. G., Shrader R., Hoffmann K. Untersuchungen an gashaltigen Mineralsalzen. II Teil Methodik und Ergebnisse der gasanalytischen untersuchungen. "Bergakademie", Bd. 16, No. 11, 1964.

Bowie S. H. U. Helium in Natural Gas in the Witwatersrand. Nature, London, v. 182, No. 4642, 1958.

Brown A. B. und Kew W. S. Occurrence of Oil in Metamorphic Rocks of San Gabriel Mountains Los Angeles County California. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., v. 16, No. 8, 1932.

Chamberlin R. T. The Gases in Rock. Carnegie Inst., Publ. 100, Washington, 1908.

Chaigneou M. Les gaz volcaniques manifestation inseparable de toute active eruptive. "Nature Sci. progr.", No. 3355, 1964.

Condon M. A. Australia Bureau of mineral resources geology and geophysics. Report (Canberra), No. 41, 1958.

Davidson C. F., Bowie S. H. U. On thucholite and related hydrocarbonuraninite complexes with a note on the origin Witwatersrand gold ores. Bull. Geol. Surv. Great Brit. No. 3, 1951.

Ellison S. Origin of porosity and permeability. Producire Mantly, No. 9, 1957.

Erdman J. Some chemical Aspects of Petroleum Genesis as related to the Problem of source beds recognition. Geochimica and Cosmochimica Acta, v. 22, No. 1, 1961.

Grip E. and Odmann H. On Thucholite and Natural Gas from Boliden. Sver Geol. Unders, ser. C., No. 464, 1944.

Harrington D., Denny E. H. Gases that occurrence in Metal Mines U. S. Department of commerce. Bureau of mines., Bull. 347. Washington, 1931.

Hygo P. J. Helium in the Orang Free State Goldfield. Department of Mines. Bull. 39, 1963.

Iwasaki J., Ozawa T., Yoshida M. et al. Volcanic Gases of Japan. Bull. Tekyo Inst. Technol., No. 47, 1962.

Jackson K. A. The Methane Problem of St. Helena. The Mining Journal, v. 250, No. 6104, 1958.

Matsuo S. On the origin of Volcanic gases. "Jorn. of Earth. Sci., Nagoya Univ., No. 2, 1960.

Müller J. V. Occurrences of Natural Gas Robinson Deep Limited. The Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa, v. XXVIII, No. 10, 1928.

Perrins H. J. Transactions of the Institution of Mining Engineers, v. 113, 1954.

Powers S. Notes of Minor occurrences of Oil, Gas and Bitumen in Igneous and Metamorphic Rocks. Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., v. 34, No. 8, 1932.

Powers and Glapp. Nature and origin of Occurrences of Oil, Gas and Bitumen in Igneous and Metamorphic Rocks. Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., v. 16, No. 8, 1932.

Ramsay W., Travers M. The gaseous Constituents of Certain Mineral Substances and Natural Waters. Proc. Roy. Soc., v. 60, 1897.

Shepherd E. S. Gases in rocks and volcano gases. Carnegie Inst., Washington, Geophysical Lab. Jarbook, 1931.

Shepherd E. S. The Analyses of Gases Obtained from Volcanoes and from Rocks. Journ. of Geol., v. 33, No. 3, 1925.

Shepherd E. S. The gases in rocks and some related problems. Amer. J. Sci. 5 ser., v. 35A, 1938.

Tilden W. A. On the Gases Enclosed in Crystalline rocks and Minerals. Proc. Roy. Soc., v. IX, 1897.

Tigert T. T. Handling methane at Central Patricia mine. The Canadian Mining and Metal Bull., v. 44, No. 466, 1951.

Van Taylor E. M., Parker B. H. The Time of origin and Accumulation of Petroleum. Colorado School of Mines Quarterly, v. 36, No. 2, 1941.

Williams A. E. The Genesis of the Diamond. v. 1-2, London, 1932.

Woolnough W. G. Natural Gas in Australia and New Guinea. Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., v. 18, No. 2, 1934.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Введение	5
Общие сведения о природных газах, условиях их перемеще- ния и распределения	8
Формы проявлений и свойства природных газов	8
Общая классификация природных газов и краткая характе- ристика их основных типов	15
Происхождение основных газовых компонентов	26
Основные физико-химические свойства пород и руд, влияю- щие на перемещение и распределение природных газов	39
Газоносность рудных месторождений и основные закономер- ности, определяющие образование и распределение при- родных газов	50
Общие сведения о наличии углеводородных и других газов в рудных месторождениях	50
Рудные месторождения Северного и Северо-Западного Кавказа	53
Хибинские апатито-пегелиновые и другие рудные место- рождения Кольского полуострова	78
Медно-никелевые месторождения Норильского района	92
Золоторудные месторождения Урала, Сибири, Казах- стана и Забайкалья	107
Алмазные и железорудные месторождения Якутии и Ан- гаро-Илимского района	118
Зарубежные рудные месторождения	126
Влияние геологических условий на образование и рас- пределение природных газов	136
Классификация газов рудных месторождений	143
Методика изучения газоносности рудных месторождений и возможность применения природных газов для поисков руд- ных тел и решения ряда геологических задач	150
Методика изучения газоносности рудных месторождений	150
О возможности использования природных газов рудных месторождений при поисках и для решения отдельных геологических задач	159
Заключение	181
Литература	184