

«Нетипичные» термы амагматических районов подвижных поясов Земли**Лаврушин В.Ю., Айдаркожина А.С., Брагин И.В.***Геологический институт РАН, Москва, Россия, E-mail: v_lavrushin@ginras.ru*

АННОТАЦИЯ: В работе рассмотрены примеры появления в амагматических районах Земли термальных (нетипичных) вод, которые резко отличаются от классических азотных маломинерализованных терм забайкальского типа. Эти отличия связаны с необычным газовым составом (присутствием высоких концентраций CH_4 или CO_2) или высокой минерализацией воды. В качестве примеров рассмотрены геологические и геохимические особенности формирования термальных вод Кавказского региона, Полярного Урала, Чукотки и Памира. Высказаны гипотезы о возможных причинах возникновения подобных аномалий. Они могут быть связаны с типом водовмещающих пород или могут указывать на молодой возраст гидротермальной системы. Также показано, что формирование некоторых углекислых терм может быть связано с тектоническим вскрытием пластовых углекислых напорных вод или с разрушением залежей газогидратов CO_2 .

“Atypical” terms of the amagmatic regions of the Earth’s mobile belts**Lavrushin V.Yu., Aydarkozhina A.C., Bragin I.V.***Geological Institute RAS, Moscow, Russia, E-mail: v_lavrushin@ginras.ru*

ABSTRACT: The paper considers examples of the appearance in the amagmatic regions of the Earth of thermal («atypical») waters, which differ sharply from the classical nitrogen mineralized low-mineralized terms of the «Transbaikal» type. These differences are associated with an unusual gas composition (the presence of high concentrations of CH_4 or CO_2) or high salinity of water. As examples, the geological and geochemical features of the formation of thermal waters of the Caucasus region, the Polar Urals, Chukotka and the Pamirs are considered. Hypotheses are expressed about the possible causes of the occurrence of such anomalies. They may be related to the type of water-bearing rocks or may indicate the young age of the hydrothermal system. It has also been shown that the formation of certain carbonic terms can be associated with the tectonic opening of reservoir carbonic pressure water or with the destruction of CO_2 gas hydrate deposits.

ВЕДЕНИЕ.

Теоретические представления о закономерностях локализации и об условиях формирования месторождений вод разного типа были разработаны более 60-70 лет назад (работы: А.П. Нелюбина, А.М. Овчинникова, Н.Н. Славянова, В.В.Иванова, А.Н.Огильви, Ю.А. Будзинского, А.Н. Бунеева, М.И. Врублевского, В.И. Дислера, Г.И. Буачидзе, Л.Н. Барабанова, А.П. Карасевой, И.Я. Пантелеева, С.Р.Крайнова, В.И. Кононова, Е.В. Пиннекера, С.Л. Шварцева, М.К. Курбанова и многих др.). В частности в работах В.В. Иванова, В.И. Дислера, Л.Н. Барабанова, В.И. Кононова, Г.С. Вартапяна были даны общие представления об эволюции химического состава газовой фазы минеральных вод в зависимости от активности тектономагматических процессов. По мнению этих авторов области развития азотных терм характерны для горноскладчатых (подвижных) поясов Земли, подверженных активным тектоническим движениям. Их следствием являются высокие положительные скорости горообразования, активизация и раскрытие глубинных разломов, повышенный фон сейсмичности и т.п. При активизации магматических процессов в газовом составе вод начинает доминировать углекислота. В таких районах в зависимости от возраста магматических проявлений, а также от удален-

ности выходов минеральных вод от вулканических центров углекислые воды могут быть как холодными (этот тип преобладает в областях развития неоген-четвертичного вулканизма), так и термальными (в районах развития современного вулканизма).

В рамках данной схемы традиционно считается [1], что классическим представителем азотных термальных вод являются азотные маломинерализованные термы «байкальского» типа, которые часто ассоциируются с гранитными массивами. Для них характерно преобладание азота в газовой фазе (N_2 до 95-98%), высокая температура воды (до 100 °С), низкая минерализация (< 0.5 г/л), рН > 8.0 и $\text{HCO}_3\text{-Na}$ -тип воды. Согласно результатам исследований В.И. Дислера, Е.В. Пиннекера, С.Л. Шварцева и др. солевой и газовый состав «забайкальских» терм формируется исключительно за счет процессов выщелачивания водовмещающих пород потоком пресных инфильтрационных вод атмосферного генезиса. При этом азот в составе их газов имеет в основном атмосферное происхождение.

Вместе с тем наряду со слабоминерализованными («типичными») азотными термами в амагматических районах Земли также встречаются термальные воды, в газах которых доминируют другие газы (CH_4 или CO_2) или их ми-

нерализация вне зависимости от газового состава может достигать первых десятков г/л. Такие воды встречаются на Чукотке, Памире, Кавказе, в Приморье и других районах Альпийско-Гималайского и Тихоокеанского подвижных поясов Земли. Такие «нетипичные» термы нарушают общую «стройную» схему эволюции газового и солевого состава вод и их появление каждый раз требует каких-либо специальных объяснений.

Например, авторы классификации термоминеральных вод [4, 5] с целью преодоления отдельных противоречий в этой области ввели термин - «береговые» термы. С его помощью они пытались объяснить высокую минерализацию термальных вод Чукотки и Малого Кавказа участием в их солевом составе современных или древних морских вод.

Однако проведенные позднее исследования не выявили признаков существенного взаимодействия этих флюидных систем на уровне компонентов водного баланса с водами современных или древних морских водоемов [12].

Целью данной работы являлось выяснение возможных причин и характерных геологических обстановок появления терм нетипичного состава.

МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являются естественные выходы термальных вод, резко отличающиеся по каким-либо геохимическим характеристикам от терм забайкальского типа и локализованные в районах, где отсутствуют проявления четвертичного или современного магматизма. К таким районам относятся многие районы Кавказского региона (Северное Предкавказье, Восточный Кавказ, восточная часть южного склона Большого Кавказа, северо-восточная часть Малого Кавказа (Талыш)), Памир, Чукотка, Полярный Урал и др.

НЕТИПИЧНЫЕ ТЕРМЫ АЗОТНОГО ИЛИ МЕТАНОВОГО ТИПА

К этой группе относятся термы, в газах которых доминирует метан и/или их минерализация существенно превышает 0.5-1 г/л.

КАВКАЗСКИЙ РЕГИОН

Здесь термальные воды необычного состава известны на *восточном фланге горного сооружения Большого Кавказа* – на его северном и южном склонах. Термальные источники (более 20) встречаются в горных районах Дагестана, Северной Осетии и Азербайджана. Все они выходят в горных районах с высокой расчлененностью рельефа – перепад высот между местами выходов термальных вод и окружающими их горными хребтами часто составляет более 1-

1.5 км. Водовмещающими породами, как правило, являются терригенные (флишоидные) отложения ранней-средней юры, залегающие на кристаллическом фундаменте (граниты и гнейсы) палеозойского возраста.

Температура вод варьирует от 26 до 62 °С. Геохимической особенностью этих вод является присутствие в составе газов больших количеств метана, доля которого достигает в некоторых водопроявлениях 85-94 %. Минерализация вод варьирует от 1 до 6 г/л. Чаще всего они относятся к $\text{HCO}_3\text{-Na}$ типу, но также встречаются и воды $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$ типа. Температуры флюидогенерации по кварцевому геотермометру варьируют в узком диапазоне значений от 72 до 96 °С. Для почти всех источников этой части Кавказа характерны коровые значения $^3\text{He}/^4\text{He}$ ($< 10 \times 10^{-8}$). Исключение составляют только воды Нижнего Кармадона (респ. Осетия), где значение $^3\text{He}/^4\text{He}$ из-за близости к вулкану Казбек достигают 27×10^{-8} [7].

Другим районом проявления «нетипичных» терм в Кавказском регионе является *Талышская горная* система, образующая северо-восточное обрамление Малого Кавказа, известна проявлениями термальных вод. Здесь известно 3 крупные группы мощных термальных источников, которые приурочены к северным предгорьям Талыша. По своему положению эти источники ближе всего соответствуют понятию «береговые» термы, поскольку их места выходов локализованы вблизи границы горного сооружения с прибрежной равниной Каспийского моря. Выходы термальных вод связаны с вулканогенными и вулканогенно-осадочными комплексами палеогена и мио-плиоцена. Считается [2], что Талышская складчатая зона представляет собой область мощного проявления щелочно-базальтового вулканизма в палеогене и неогене, которая трактуется как зона задугового рифтогенеза.

Температура вод варьирует от 40 до 63 °С. Особенностью их газового состава является то, что собственно азотным составом газов ($\text{N}_2 = 96\text{-}98\%$) характеризуются только 2-е из трех групп источников, входящих в Астаринскую и Ленкораньскую группы. Третья группа – Масалинская, отличается метановым или азотно-метановым составом газовой фазы [8]. Все термы Талыша относятся к Cl-Na-Ca типу. В большинстве случаев их минерализация варьирует от 14 до 27.5 г/л и только в источниках Ленкораньской группы она составляет около 4 г/л. Отличительной особенностью газового состава этих терм является высокая примесь мантийного гелия – $^3\text{He}/^4\text{He} = 200\text{...}400 \times 10^{-8}$. Поэтому на первый взгляд кажется, что основным фактором термической активности являются

магматические проявления. Однако какие-либо другие геохимические признаки присутствия вулканогенных газов, судя по значениям $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ в составе CO_2 , CH_4 , и N_2 , здесь полностью отсутствуют [8]. Поэтому было высказана гипотеза, что источником мантийного гелия являются водовмещающие вулканиды, из которых он выщелачивается вместе с другими компонентами солевого состава. Этот вывод подчеркивается и умеренными значениями Si-температур флюидогенерации, которые во всех источниках варьируют от 80 до 90 °С.

ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ

Азотные *термы гряды Чернышова* можно также отнести к группе нетипичных терм, т.к. они имеют несколько повышенную минерализацию (от 1.5 до 2.5 г/л) и азотный состав газовой фазы. Несмотря на относительно невысокие температуры воды - от 15 до 27 °С (ис. Пымва-Шор). Здесь насчитывается 7 естественных источников, и они являются самыми северными термами Европейской части РФ. Их формирование происходит в известняках палеозойского возраста. Воды в основном относятся к Cl-Na-Ca типу. Si-температуры их формирования оцениваются в диапазоне 35-52 °С [11]. Гелий в газах этих источников характеризуется коровыми значениями от 2.5 до 9.7 ($\times 10^{-8}$), что полностью исключает возможность участия магматических источников вещества и тепла в формировании этих вод.

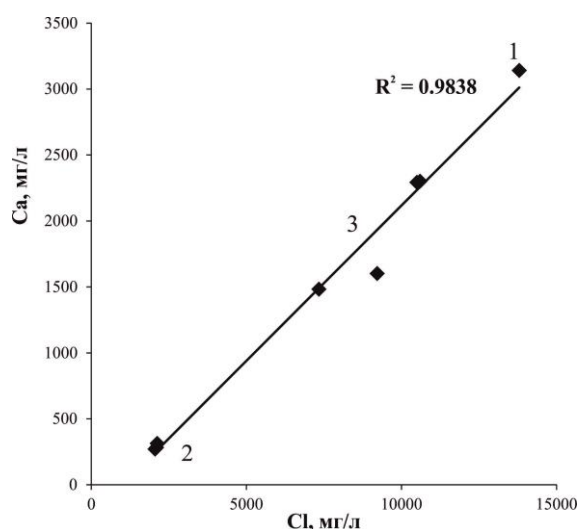


Рис. 1. Соотношение концентраций хлора и кальция в солевом составе азотно-метановых терм Тальша. 1-3 группы источников: 1 – Астаринская, 2 – Ленкоранская, 3 – Масаллинская

ЧУКОТКА

Другой крупной зоной развития нетипичных терм является северо-восточная часть Чукотки. Здесь насчитывается более 15 групп термальных источников с температурами воды от 15 до 97 °С, газифицирующихся в основном азотом, реже углекислотой. Большинство источников выхо-

дит вблизи берега моря на низких абсолютных отметках. Но и в удаленных от моря на 40-50 км очагах разгрузки их высотные отметки обычно ниже +100 м. Перепад высот между выходами источников и окружающими холмами, как правило, не превышает 400-600 м. Формирование вод в основном происходит в кислых вулканогенных вулканогенно-осадочных и терригенных осадочных породах мелового возраста. В северных районах Чукотского полуострова водовмещающими породами являются древние гранито-гнейсы архейского возраста. В центральной части полуострова часть источников ассоциируется с Колоченско-Мичигменская рифтовой зоной [6]. Важной особенностью Чукотского региона, влияющей на гидрогеологические условия формирования вод является наличие многолетней мерзлоты, мощность которой может варьировать от первых десятков до нескольких сотен метров. Поэтому вопрос об источниках водного питания данных терм остается весьма дискуссионным. Величина общей минерализации вод варьирует – от ~1,5 г/л в Сенявинских и Аракамченских источниках до ~20 г/л в Чаплинских и Дежневских, и даже до 34 и 36,5 г/л в Оранжевых и Нэшкенских источниках. Несмотря на это большого разнообразия химических типов минеральных вод на Чукотке не отмечается [12]. Практически все воды относятся к Cl-Na-Ca типу. При этом создается впечатление, что все воды Чукотского полуострова являются продуктами разбавления рассольных вод Cl-Na-Ca типа (рис. 2). Температуры формирования вод по Si-геотермометру варьируют от 75 до 145 °С.

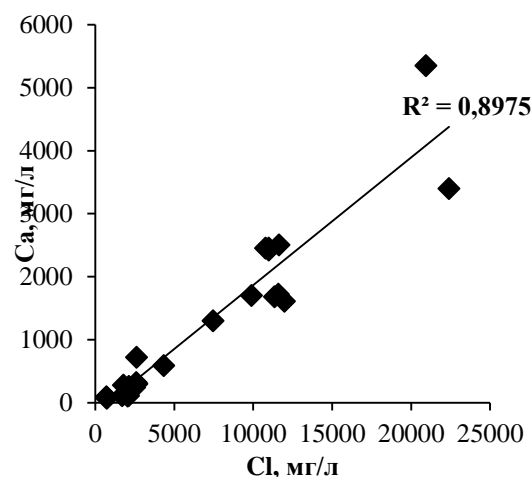


Рис. 2. Соотношение концентраций ионов Ca и Cl в солевом составе термальных вод Чукотки

УГЛЕКИСЛЫЕ НЕТИПИЧНЫЕ ТЕРМЫ

В эту группу попадают термальные воды, в газах которых доминирует углекислота, но генетическая связь термальной активности с вулканическими проявлениями вызывает сомнение или она отсутствует.

КАВКАЗСКИЙ РЕГИОН

В пределах Большого Кавказа локализуется область холодных углекислых вод с температурами воды от 3 до 10-15 °С. Большинство углекислых источников локализуется вокруг вулканических центров плиоцен-четвертичного возраста. На более чем 350 холодных углекислых источников здесь приходится только 5 термальных. Три из которых с температурой воды от 15 до 22 °С локализируются вокруг вулкана Эльбрус. Еще один с t до 42 °С (ист. Провал) располагается в районе КМВ на склоне плиоценового лакколита г. Машук. Последний термальный источник – Верхне-Кармадонский располагается у северного подножья вулкана Казбек. Из этих источников, по крайней мере, надежно можно отнести к «нетипичным термам» только один - источник Провал. Ранее его приводили в качестве примера сохранившейся вулканической/термической активности лакколитов КМВ [10]. Однако измерение температур в скважинах КМВ показало [9], что признаки термической активности в районе лакколитов КМВ не обнаруживаются (рис. 3). А появление термальных вод на склоне горы можно объяснить наличием здесь разломного нарушения, вскрывающего высоконапорные воды мелового водоносного горизонта.

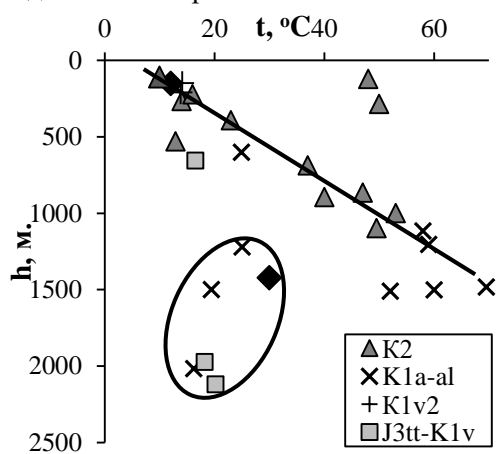


Рис. 3. Температуры вод в скважинах КМВ, пробуренных на мезозойские водоносные горизонты

Также стоит заметить, что и углекислые термы Верхнего Кармадона могут быть не связаны с магматической активностью вулкана Казбек. На первый взгляд, на связь с этим вулканическим центром указывает присутствие мантийного гелия ($^3\text{He}/^4\text{He} = 190 \times 10^{-8}$) в их газах. Однако также следует принимать во внимание, что, во-первых, это единственная в данном районе Большого Кавказа группа естественных источников со столь высокой температурой (до 54 °С). Температура остальных источников Казбекского района, даже с еще большими значениями $^3\text{He}/^4\text{He}$ (до $300 \dots 600 (\times 10^{-8})$) не превышает 10-15 °С. Во-вторых, эта группа распо-

лагается на линии тектонического нарушения, по простиранию которого в 10 км к северу находится Нижне-Кармадонское месторождение термальных вод. В отличие от углекислых газов Верхнего Кармадона, в газах Нижнего доминируют исключительно метан и азот ($^3\text{He}/^4\text{He} = 27 \times 10^{-8}$). Создается впечатление, что состав газовой фазы термальных вод Кармадонского ущелья, указывающий на связь с молодым вулканизмом, в данном случае имеет вторичное значение в сравнении с геологической обстановкой, обеспечивающей формирования термальных вод (наличие разлома транскавказского простирания).

ЧУКОТКА

В пределах Чукотского полуострова известно не менее 4-х групп углекислых источников. Они располагаются в центральной части области распространения азотных термальных вод Чукотки (см. выше). Хотя их температуры и не столь высоки (7...15 °С), но, учитывая повсеместное развитие здесь вечной мерзлоты, термальность этих водопроявлений сомнений не вызывает. Проявления четвертичного вулканизма в пределах Чукотского полуострова достоверно не установлены [13]. Тем не менее, недалеко от восточного побережья Чукотки в Беринговом море на о. Св. Лаврентия расположен плейстоцен-голоценовый базальтовый щитовой вулкан Кукулиджит Маунтинс. Поэтому полностью исключить влияние четвертичного вулканизма на формирование углекислых вод здесь нельзя. Надо так же отметить, что значения $^3\text{He}/^4\text{He}$ в углекислых газах этой части Чукотки, как правило, почти такие же, как и в азотных газах ($65 \dots 88 \times 10^{-8}$). Только в Нэльпыгенвеевском углекислом источнике отмечено максимальное значение $^3\text{He}/^4\text{He}$ для Чукотского полуострова – 177×10^{-8} . Однако этот источник характеризуется минимальной температурой (7 °С).

Мы предполагаем, что формирование термальных вод Чукотки, богатых углекислотой, вероятно, не связано с проявлениями вулканогенной термической активности. По-видимому, в данном регионе процесс формирования термальных флюидных систем, развивающийся по сценарию формирования азотных терм, накладывается на горизонты вод, богатых углекислотой. Длительному сохранению углекислых вод в пластовых условиях может способствовать вечная мерзлота – идеальный флюидоупор, обеспечивающий сохранение CO_2 в пластовых водах. Также формирование термальных углекислых источников Чукотки может быть связано с взаимодействием термальных азотных вод с залежами газогидратов углекислоты. Концен-

тратором углекислоты в данном случае может являться та же толща вечной мерзлоты. При этом углекислота изначально могла иметь вулканогенное происхождение. Надо заметить, что газогидраты CO_2 образуются в более мягких P-T-условиях, чем газогидраты CH_4 . Поэтому они могут легко образовываться и долгое время оставаться стабильными при наличии вечной мерзлоты в диапазоне глубин от 100 до 500 м (рис. 4).

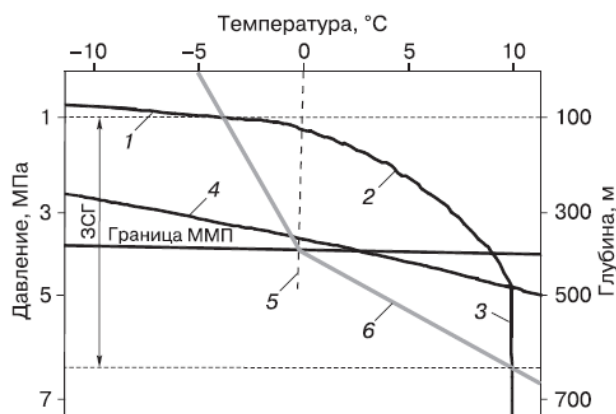


Рис. 4. Термодинамические условия существования гидрата CO_2 по [14]. Условные обозначения: 1 – линия фазового равновесия между газом CO_2 , гидратом CO_2 и льдом; 2 – линия фазового равновесия между газом CO_2 , гидратом CO_2 и водой; 3 – линия фазового равновесия между жидким CO_2 , гидратом CO_2 и водой; 4 – линия фазового равновесия между жидким CO_2 и газом CO_2 ; 5 – линия фазового равновесия вода–лед; 6 – температурная кривая; сокращения: ЗСГ – зона стабильности газогидрата; ММП – многолетне-мерзлые породы

При взаимодействии термальных вод с пластовыми газогидратами термальные воды будут обогащаться «вулканогенной» углекислотой (поскольку она и была там законсервирована). Однако при этом температура вод будет существенно снижаться, за счет экзотермического процесса разложения газогидратов.

Такая гипотеза имеет право на существование, поскольку именно углекислые источники Чукотки характеризуются минимальными температурами воды. При этом влияние на их температуру процесса адиабатического расширения газов маловероятно – газоотделение в них постоянное, но не бурное.

ПАМИР

На Памире известны как месторождения типичных высокотермальных азотных терм (например, месторождение Жиланды, $t = 80^\circ\text{C}$), так и углекислых термальных вод. Температура последних меняется от 30 до 65 $^\circ\text{C}$. Характерной чертой памирских углекислых источников являются их высокие дебиты. Самым высокотемпературным углекислым источником явля-

ется Гарм-Чашма. При этом в газах этого источника содержится очень небольшая примесь мантийного гелия (${}^3\text{He}/{}^4\text{He} = 15...25(10 \times 10^{-8})$) [15]. Эти значения мало отличаются от значений ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ в азотных газах близлежащего месторождения Джиланды (10×10^{-8}). Хотя сведения о широком развитии четвертичного вулканизма на Памире отсутствуют, но значения $\delta^{13}\text{C}$ в CO_2 этих газов ($-4.5...-5.3\text{‰}$) все же указывают на возможную примесь вулканогенной CO_2 . Таким образом, в пределах Памира имеется серия термальных углекислых источников, но изотопно-гелиевые данные не указывают на какую-то экстраординарную мантийную активность [15].

Можно предполагать, что тепловая активность углекислых вод Памира не связана с проявлениями новейшего вулканизма. В этом случае термальность вод обеспечивается по механизму формирования азотных терм, для которого необходимо наличие протяженных трещинных систем, обеспечивающим проникновение вод на глубины ~1.5-3 км. Эти воды могут ассимилировать углекислые флюидные системы, меняя свой азотный состав газов на углекислый.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конечно перечень приведенных в данной работе примеров «нетипичных» терм, встречающихся в амагматических районах Земли, является далеко не полным. Тем не менее, на наш взгляд, они характеризуют «типичные» отличия вод от азотных терм забайкальского типа. Они могут затрагивать как особенности газового, так и солевого состава термальных вод.

Доминирование метана в составе отдельных терм может быть легко объяснено. Если их формирование происходит в толщах осадочных пород, насыщенных органикой, то присутствие этого газа находит вполне закономерное объяснение. Выявить связь некоторых углекислых терм с глубокой циркулирующей вод, а не с источниками вулканогенного тепла значительно сложнее. В данном случае пониманию альтернативных схем формирования таких вод «мешают» существующие классические представления о направленности эволюции газового состава вод в связи с активизацией тектономагматических процессов [3, 4]. Например, мы предполагаем, что в некоторых случаях помимо гидрогеологических факторов могут оказывать влияние на формирование углекислых терм и газогидраты CO_2 . Участие этих образований в формировании углекислых вод ранее ни как не учитывалось.

Другой важной чертой, позволяющей отнести термальную воду к классу «нетипичных» терм является их минерализация. При этом неболь-

шие превышения минерализации (до 1-3 г/л) могут быть связаны, в том числе, и с процессами формирования содовых вод (как в забайкальских термах). Однако, например, на Восточном Кавказе такие воды генетически связаны не с гранитными массивами, а со сланцеватыми толщами ранней-средней юры, что в большей степени роднит эти воды с содовыми водами нефтематеринских толщ. Остальные случаи высокой минерализации вод (Талыш, Чукотка) связаны с водами Cl-Na-Ca типа, которые совершенно справедливо связывают с древними седиментационными водами осадочных бассейнов [5]. Вместе с тем, тут возникает противоречие – в водном балансе таких терм, судя по данным исследования изотопного состава воды, доминируют инфильтрационные воды. Конечно, причины высокого содержания солей необходимо рассматривать в каждом конкретном случае. Вероятно, в некоторых случаях высокая минерализация вод может указывать на малый возраст термальной системы – инфильтрационные воды еще не в полной мере промыли водовмещающие породы от присутствующих в них ранее седиментационных рассолов. Поэтому появление таких терм возможно в областях активного горообразования, тем более там, где водовмещающие породы представлены осадочными образованиями. Повидимому, так можно объяснить высокую минерализацию азотных и метановых терм Талыша, Большого Кавказа и Полярного Ураза.

Сложнее дело может быть с объяснением происхождения высокоминерализованных терм Чукотки. Здесь отсутствуют значительные перепады высот между местами разгрузки и потенциальными областями питания. Кроме того, из-за наличия толщи многолетней мерзлоты, являющейся естественным водоупором, представления о водном питании этих терм весьма неоднозначны. Области их питания традиционно связываются с подрусловыми таликами. Хотя конечно трудно представить, чтобы поверхностные воды проникали на глубину 2-3 км в толщу пород в относительной близости от очагов их разгрузки.

Конечно, некоторый вклад в формирование напорных систем и солевого состава вод могут внести и криогенные процессы (в качестве фактора увеличения напоров при промерзании и вымораживании солей при льдообразовании). Однако это кажется маловероятным. Скорее вечная мерзлота обеспечивает хорошую сохранность высокоминерализованных вод от их быстрого разбавления пресными инфильтрационными водами. Впрочем, принимая во внимание относительно высокий фон сейсмичности Чукотского полуострова, нельзя и здесь исклю-

чить того, что тут мы тоже имеем дело с молодыми термальными системами.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что высказанные в данной работе взгляды не дают окончательного решения проблемы генезиса «нетипичных» по какому-либо параметру термальных вод, встречаемых в амагматических районах Земли. Скорее, представленные материалы иллюстрируют то, что в теории формирования термальных вод существуют еще нерешенные или дискуссионные вопросы, на решения которых могут быть направлены силы исследователей. Одним из таких направлений является изучение возраста существования флюидных систем. Кроме того, несомненный интерес вызывают углекислые воды с низкими значениями $^3\text{He}/^4\text{He}$, которые исключают возможность активного участия мантийных дериватов в формировании мощных потоков углекислоты и тепла. С этим направлением также сочетается и проблема роли газогидратов углекислоты в процессах формирования месторождений углекислых вод в районах, где магматическая деятельность давно прекратилась.

Благодарности: исследование терм Кавказа и Чукотки выполнено при финансовой поддержке РФФИ грант № 20-05-00727, исследование минеральных вод Памира проведено при поддержке РФФИ грант № 18-17-00245.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барабанов Л.Н., Дислер В.Н. Азотные термы СССР. М.: «Геоминвод», 1968, 323 с.
2. Геология Азербайджана. Т. IV. Тектоника. Баку: Nafta-Press, 2005. 506 с.
3. Дислер В.Н. Возможные направления эволюции углекислых вод и азотных терм областей новейшего горообразования // Бюлл. МОИП. 1971. Т. XLVI (3). С. 114-124.
4. Иванов В.В. Генетическая классификация минеральных вод земной коры // В кн.: Вопросы гидрогеол. мин. вод. М. Тр. ЦНИИК и Ф, 1977, т. 34. С. 3-58.
5. Иванов В.В. Закономерности распространения и формирования термальных вод дальнего востока СССР // Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР. М.: ЦНИИКиФ Мнздрав СССР. 1960. С. 171-262.
6. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Гунбина Л.В., Макки К., Фуджита К. Сейсмичность и современные границы плит и блоков северо-восточной Азии // Геотектоника. 2000. №4. С. 44-51.
7. Лаврушин В.Ю. Подземные флюиды Большого Кавказа и его обрамления / Тр. ГИН РАН вып. 599. Отв. ред. Б.Г.Поляк – М.: ГЕОС, 2012. 348 С.
8. Лаврушин В.Ю., Исафилов Ю.Г., Поляк Б.Г., Покровский Б.Г., Буякайте М.И., Каменский И.Л. Условия формирования термоминеральных вод Талышской складчатой зоны Малого Кавказа (Азербайджан) по изотопно-химическим данным ($^3\text{He}/$

- ^4He , $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{N}_2}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, δD и $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$) // Литол. и полезн. ископ., 2018. № 1. С. 58-82.
9. Лаврушин В.Ю., Лисенков А.Б., Айдаркожина А.С. Генезис Эссентукского месторождения углекислых вод (Северный Кавказ) // Геохимия, 2020. Т. 65. № 1. С. 77–91.
10. Макаренко Ф.А. Геотермические условия района Кавказских минеральных вод. Тр. ЛГПИ АН СССР, т.1. 1948. С.171-211.
11. Митюшева Т. П., Лаврушин В. Ю., Поляк Б. Г. Изотопный состав вод минеральных источников северного Предуралья // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: материалы Всероссийской конференции с участием иностранных ученых. Томск: Изд-во НТЛ, 2012. С. 332-336.
12. Поляк Б.Г., Дубинина Е.О. Лаврушин В.Ю., Чешко А.Л. Изотопный состав воды гидротерм Чукотки // Литол. и полезн. ископ., 2008. N. 5. С. 480–504.
13. Поляк Б.Г., Лаврушин В.Ю., Чешко А.Л., Прасолов Э.М., Каменский И.Л. Новейшая тектономагматическая активизация Колочинско-Мечигменской зоны Чукотского полуострова (по данным о составе газов гидротерм) // Геотектоника. 2010. № 6. С. 102-114.
14. Чувиллин Е.М., Гурьева О.М. Экспериментальное изучение образования гидрата CO_2 в поровом пространстве промерзающих и мерзлых пород // Криосфера Земли, 2009. Т. XIII. № 3. Сс. 70–79.
15. Шариф-Заде В. Б., Верховский А.Б., Локтев В.А. Изотопы благородных газов в азотных термальных и углекислых водах Южного Памира // Геохимия, 1988. N 8. С. 1187-1198.