
**ПРИРОДНЫЕ
И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

УДК 550.845(571.621)

**ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ
И ЭВОЛЮЦИЯ СОСТАВА КУЛЬДУРСКИХ ТЕРМ
(ДАЛЬНИЙ ВОСТОК)**

© 2015 г. В. Н. Компаниченко, В. А. Потурай

*Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,
ул. Шолом-Алейхема, 4, Биробиджан, 679016 Россия.*

*E-mail: kompanv@yandex.ru;
poturay85@yandex.ru*

Поступила в редакцию 17.09.2014 г.

На основе обработки многолетней базы данных уточнен состав вод Кульдурского термального поля, находящегося в пределах Еврейской автономной области. Воды имеют щелочной фторидно-хлоридно-кремниевое-гидрокарбонатный натриевый состав. Установлены пространственные (элементы зональности) и временные вариации гидрохимического состава терм. Рассмотрена изменчивость гидрохимического состава терм за период с 1995 до 2008 г., которая заключается в значительном возрастании содержания ионов натрия, хлора и гидрокарбоната и уменьшении – иона аммония и сероводорода. В термальных водах установлены органические соединения 12 гомологических рядов, изменчивость их содержания во времени (с 2007 по 2011 г.) чрезвычайно велика и значительно превосходит изменчивость неорганических компонентов. На основе структурно-геологических, геофизических и геохимических данных, а также косвенных аналогий с вулканогенными гидротермальными полями Камчатки сделан вывод о том, что в составе кульдурских терм присутствуют не только рециркулирующие в приповерхностной зоне воды атмосферного происхождения, но и примесь материала, поступающего из более глубоких областей земной коры.

Ключевые слова: *термальная вода, гидрохимический состав, органические соединения, вариация.*

ВВЕДЕНИЕ

Кульдурское месторождение термальных вод располагается во внутриконтинентальной части юга Дальнего Востока, в районе пос. Кульдур Еврейской автономной обл. (рис. 1). Первое геологическое описание источника дано Э.Э. Анертом в 1910 г. Далее проводилась разведка Кульдурского месторождения, в ходе которой были пробурены несколько десятков скважин, изучено геологическое строение района, определен общий химический, микроэлементный и газовый состав кульдурских терм [2, 5, 9, 13, 18, 28]. Несколько лет назад началось систематическое изучение органического вещества в кульдурских термах [21, 22, 35]. Следует отметить также работы ряда других исследователей, внесших вклад в изучение Кульдурского термального поля и его дальневосточных аналогов – Тумнинского и Аненского [4, 10, 25, 40, 41].

На Кульдурском месторождении уже около 50 лет гидрогеологической станцией санатория “Кульдур” осуществляется мониторинг дебита, температуры и химического состава термальных вод. До недавнего времени его результаты фиксировались только на бумажных носителях и не подвергались какой-либо статистической обработке. Нам были предоставлены данные мониторинга за 1994–2008 гг. В соответствии с первой задачей выполненного исследования было проведено их обобщение, что позволило статистически более точно охарактеризовать химический состав кульдурских терм, рассмотрев при этом его пространственные и временные вариации. Вторая задача исследования заключалась в изучении умеренно-летучего органического вещества в горячих водах месторождения и рассмотрении временных вариаций содержания составляющих его гомологических рядов и соединений.

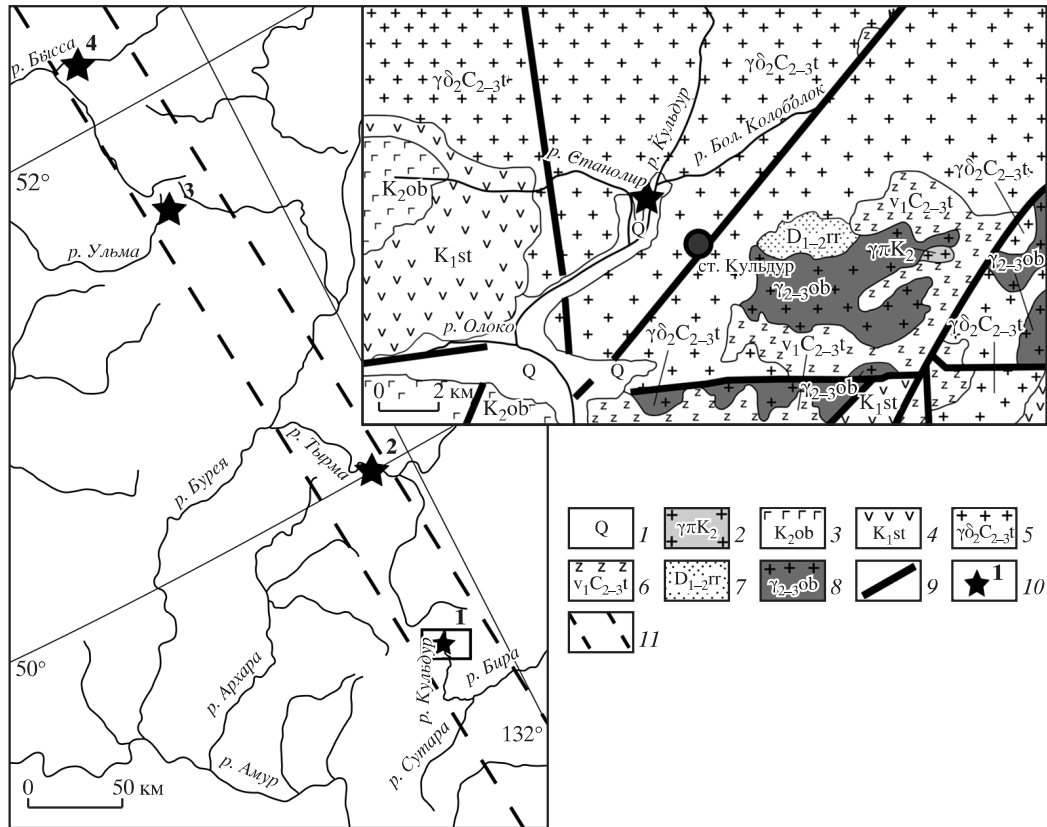


Рис. 1. Обзорная карта-схема с местоположением выходов термальных вод Кульдурско-Бысинской линии и геологическая карта-врезка Кульдурского района по [12]. 1 – четвертичные аллювиальные отложения; 2 – позднемеловые интрузии: лейкогранит-порфиры, гранит-порфиры, граниты (хингано-олонойский комплекс); 3 – верхнемеловые отложения: обманьская свита – игнимбриты риолитов и трахириолитов, туффиты; 4 – нижнемеловые отложения: станолирская свита – лавы, лавобрекчии и туфы андезитов, андезитбазальты, трахиандезитбазальты, базальты, дациты, туффиты; 5–6 – средне-позднекаменноугольные интрузии: тырмо-буреинский комплекс – гранодиориты, граниты роговообманково-биотитовые порфиroidные, кварцевые диориты (5) и габбро, диориты (6); 7 – нижние и средние девонские отложения: песчаники, алевриты, гравелиты, линзы известняков; 8 – ордовикские интрузии: Биробиджанский комплекс – граниты, лейкограниты двуслюдяные, гранодиориты; 9 – разрывные нарушения; 10 – термальные источники: Кульдурские (1), Тырминские (2), Ульминские (3), Бысинские (4); 11 – Кульдурско-Бысинская термальная линия.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КУЛЬДУРСКОГО ТЕРМАЛЬНОГО ПОЛЯ

Структурная позиция поля и вмещающие породы. Кульдурское месторождение термальных вод находится в пределах Турано-Буреинской области азотных терм. Площадь ее совпадает с Буреинским массивом, сложенным докембрийскими метаморфическими образованиями, в который в палеозое произошло внедрение громадных масс гранитной магмы, сопровождавшееся возникновением разрывных дислокаций меридионального направления. Это обусловило некоторую общую закономерность пространственного размещения здесь и термальных источников, выразившуюся в линейном расположении их выходов [13]. Наиболее мощные термопроявления приурочены к Кульдурско-Бысинской термальной линии, вытянутой в субмеридиональном направлении на

протяжении около 400 км (см. рис. 1) [5]. Кульдурское месторождение термальных вод, являясь наиболее высокодебитным и высокотемпературным среди термальных полей внутриконтинентальной части юга Дальнего Востока, замыкает с юга эту цепочку термопроявлений. Вмещающими породами являются палеозойские гранодиориты и граниты [9, 12, 13].

Результаты изучения глубинного строения района позволяют сделать вывод, что он находится на периферии Средне-Амурского плюма [33]. Здесь частично расплавленные породы находятся в астеносферном слое, на глубине порядка 40–50 км. Тектонические структуры в районе месторождения наиболее интенсивно изучались в период с 30-х до 60-х годов прошлого века В.Н. Рогальским и В.Е. Сидоровым. В результате выполнения электроразведочных работ было выявлено общее

направление аномальной зоны, имеющей северо-западное простирание и интерпретируемой как зона разлома. К этому разлому (примерно совпадающему с простиранием региональной цепочки термопроявлений) и приурочен очаг разгрузки термальных вод.

Гидрогеологическая характеристика и состав терм. Термальная площадка месторождения приурочена к правобережной части долины р. Кульдур (левого притока р. Биры), берущей начало с восточных склонов хребта Малый Хинган. В соответствии со структурно-гидрогеологическим районированием Хабаровского края и сопредельных территорий район месторождения входит в состав Амура-Охотской гидрогеологической складчатой области.

Кульдурские термы представляют собой типичные напорные трещинно-жильные воды, поднимающиеся с глубин порядка 1–3 км [9, 13]. Их формирование происходит за счет инфильтрационных вод атмосферного происхождения, а нагревание обусловлено эффектом нормального геотермического градиента. Воды Кульдурского месторождения щелочные фторидно-хлоридно-кремниевые-гидрокарбонатные натриевые, слабоминерализованные. Суммарный дебит эксплуатационных скважин около 2000 м³/сут, водоотбор примерно 1500 м³/сут. Температура воды достигает 73 °С. Рассчитанная по кварцу базовая температура составляет 103 °С [25]. Растворенная газовая составляющая терм представлена азотом (до 99%), в незначительном количестве метаном (0.8%), кислородом (0.5%) и аргоном (0.16%). Содержание растворенных в воде газов не превышает 0.04 г/дм³. Значение 100Ar/N₂ (1.39) близко к соотношению этих газов для нижних частей атмосферы (1.18), что позволяет предполагать воздушное происхождение азота в термах [9, 25]. Данные соотношений изотопов кислорода и водорода в термальных водах Приамурья указывают на то, что вода в основном имеет метеорное происхождение. Установленные соотношения изотопов кислорода (O¹⁸) (–19.5‰ – –17.5‰) и водорода (D) (–155‰ – –130‰) располагаются вдоль линии метеорных вод Крейга [25].

Распределение температур в пределах месторождения. В ходе поисково-разведочных работ, проведенных на Кульдурских термальных источниках в различные годы, здесь пробурено несколько десятков мелких скважин и 13 более глубоких (глубина последних около 100 м и более). Имеющиеся данные замеров температур выхода термальной воды в скважинах позволяют наметить температурную зональность место-

рождения. Наиболее высокотемпературные воды (71–73 °С) вскрываются скважинами 1–87 и 2–87 непосредственно у излучины р. Кульдур (рис. 2, вверху). На сопровождающем план разрезе “скв. 1–87 – скв. 5–51” (рис. 2, внизу) видно, что первая из них попадает прямо в водоподводящий разлом. Сква. 1–87 и 2–87 характеризуются не только наивысшей температурой, но и наибольшим дебитом, что позволяет рассматривать эту часть месторождения как ее центральную зону, совпадающую с областью максимальной разгрузки терм. Сква. 3–87 и 3–51 на поверхности располагаются на удалении от центральных скважин всего в 20–30 м и тоже попадают в водоподводящую зону дробления, но температура воды (55–60 °С) и дебит здесь уже существенно ниже. На основе этих показателей данная часть месторождения рассматривается как промежуточная зона, располагающаяся между центральной и фланговой зонами (см. рис. 2, вверху). На флангах скважины вскрывают только теплые или холодные воды. Они не попадают в водоподводящую зону дробления, что видно на разрезе. Вода из скв. № 3–87, 3–51 и 5–51 не используется санаториями вследствие более низкой температуры. Эти скважины закрыты, на них проводятся только режимные наблюдения, водоотбор из них не осуществляется, поэтому они характеризуются достаточно застойным гидродинамическим режимом.

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ И ЭВОЛЮЦИЯ СОСТАВА КУЛЬДУРСКИХ ТЕРМ

Методика проведения анализа. На всех 5 незаконсервированных скважинах (1–87, 2–87, 3–87, 3–51, 5–51) проводятся режимные наблюдения, включающие отслеживание изменения температуры, F[–], H₄SiO₄ (в среднем 1 раз в 3 сут) и определение концентраций NH₄⁺, Na⁺+K⁺, Ca²⁺, Cl[–], SO₄^{2–}, HCO₃[–], CO₃^{2–}, H₂S, общей минерализации, pH (в среднем 1 раз в 10 сут). Определение pH и температуры производится прямо в устье скважин, а отбор проб воды на химический анализ осуществляется в специально подготовленную тару. Определение магния, кальция, хлора, карбонатов и гидрокарбонатов осуществляли титриметрическим методом. Магний в кульдурских термальных водах имеет незначительные концентрации, редко достигающие 0.08 мг/дм³, поэтому в дальнейшем его не определяли. Ионы аммония, железа, нитратов, нитритов, фтора и кремниевая кислота определяли фотометрическим методом, сульфаты – турбидиметрическим. Ионы железа, нитраты и нитриты также не были

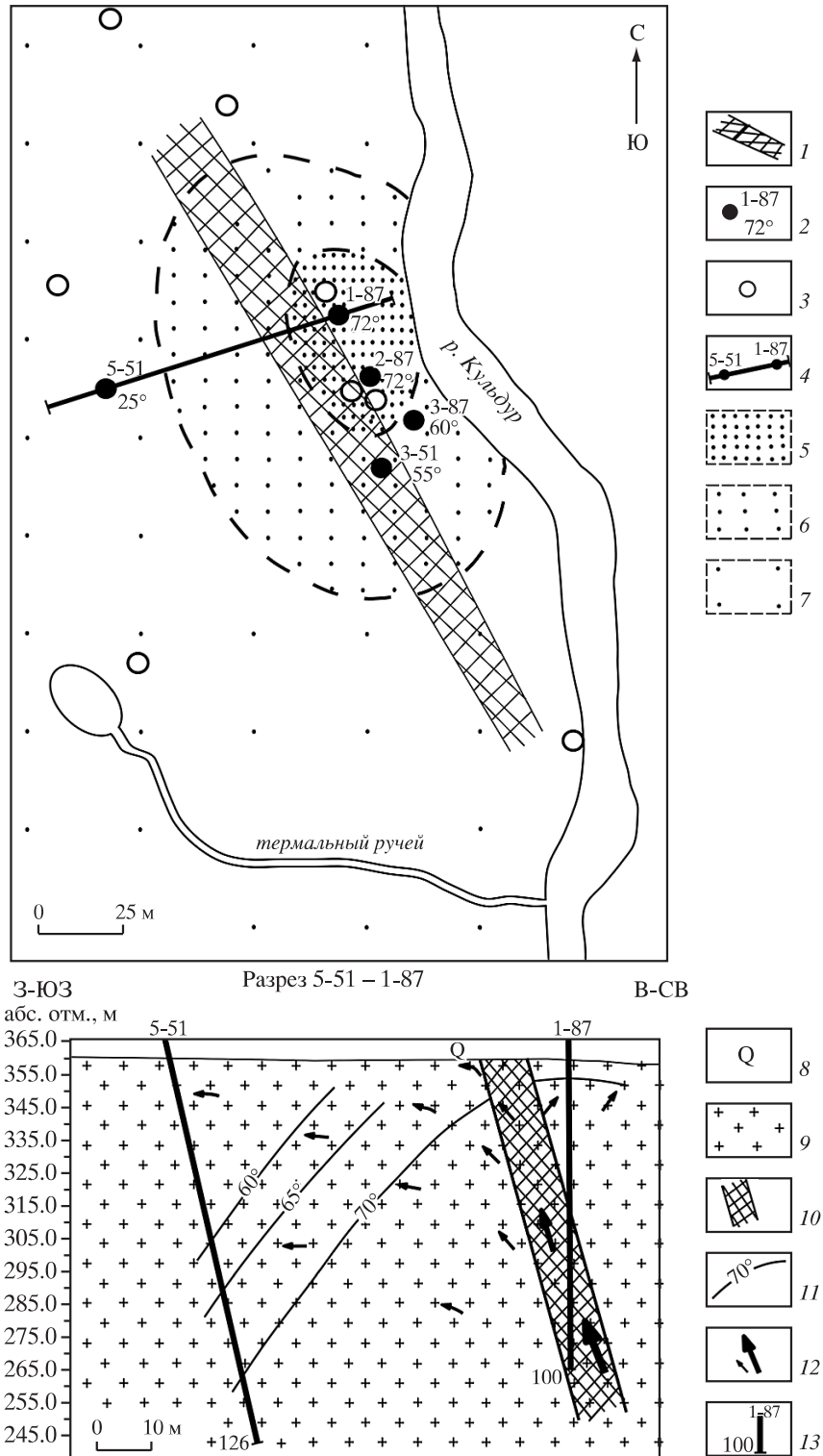


Рис. 2. Схематический геологический план Кульдурского месторождения термальных вод (вверху) и разрез по линии скв. 5–51 – 1–87 (внизу) (по материалам Сидорова В.Е., 1963 г.): 1 – зона разлома, по которому происходит разгрузка термальных вод; 2 – скважины, на которых осуществляется гидрогеологический мониторинг, их номера и температура на устье; 3 – законсервированные скважины; 4 – линия разреза 5–51 – 1–87; ориентировочные границы зон Кульдурского месторождения: 5 – центральная зона; 6 – промежуточная зона; 7 – фланговая зона; 8 – аллювиальные и элювиальные отложения; 9 – вмещающие граниты; 10 – термовыводящая зона разлома; 11 – изотермы; 12 – направление движения термальных вод; 13 – скважины, сверху ее номер, снизу – глубина в метрах.

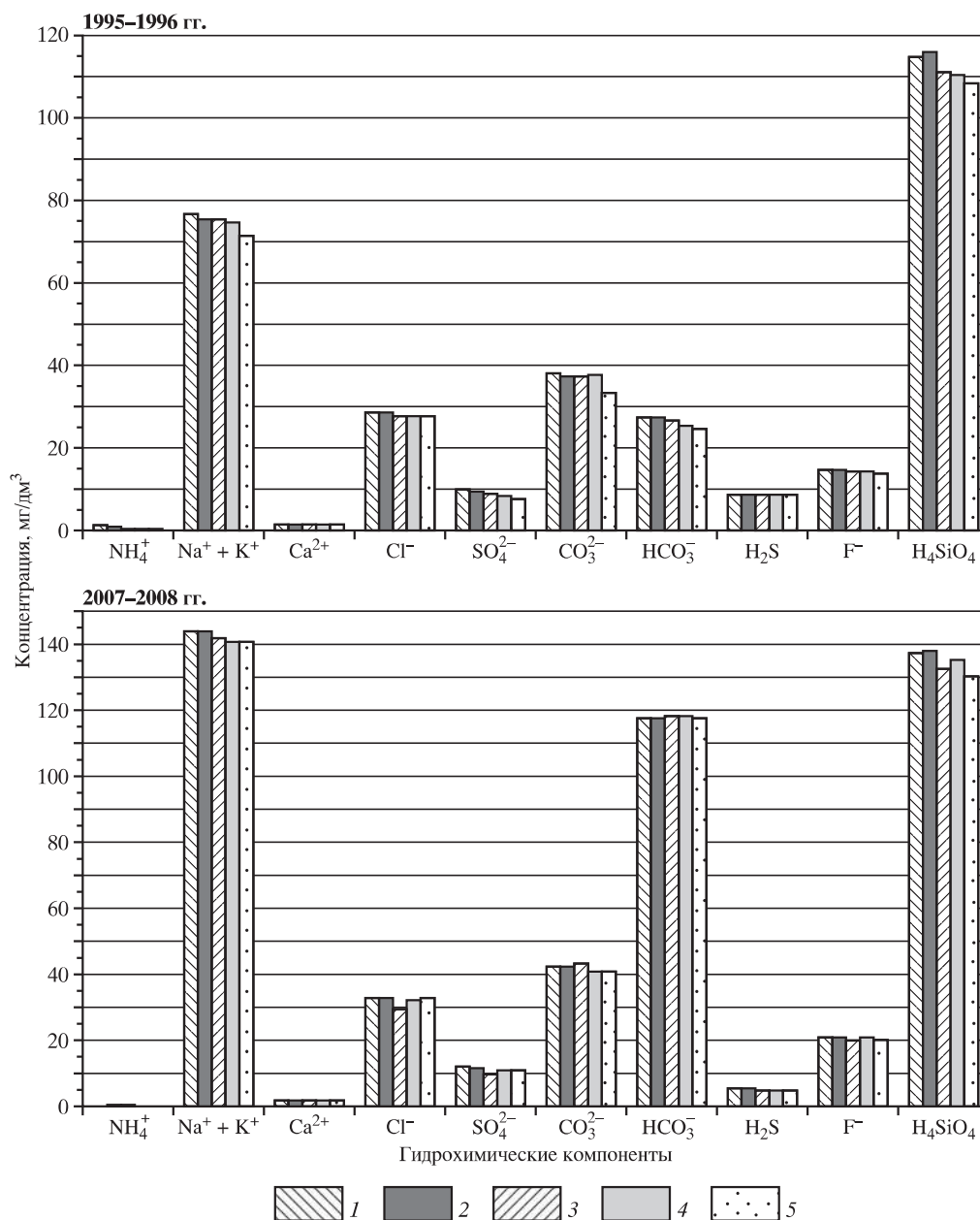


Рис. 3. Гистограмма содержаний гидрохимических компонентов в воде из скважин Кульдурского термального поля за исследуемые годы. Скважины: 1 – 1–87; 2 – 2–87; 3 – 3–87; 4 – 3–51; 5 – 5–51. Магний в исследуемые годы не определялся, так как его содержание в воде менее 0,08 мг/дм³.

установлены в воде, поэтому в дальнейшем анализе на эти компоненты не проводили. Анализ на сероводород проводили йодометрическим методом (анализ осуществлялся сразу после отбора проб воды). Определения натрия и калия в сумме производили расчетным путем, исходя из разности суммы эквивалентов анионов и катионов, рН воды – потенциометрическим методом. Химический анализ проб воды проводился в лаборатории гидрогеологической режимно-эксплуатационной станции санатория “Кульдур” в соответствии с нормами [7].

Данный мониторинг проводится уже около 50 лет, но первые результаты математической обработки анализов получены только в последние годы [21, 22]. В этих работах выявлены короткопериодические вариации (измеряемые в месяцах) химического состава термальных вод в скв. 1–87, 2–87, 3–87, 3–51, 5–51 на основе данных мониторинга за 2001–2004 гг., предоставленных Кульдурской гидрогеологической станцией. В предлагаемой вниманию статье использована база данных мониторинга, охватывающая период с 1995 по 2008 гг., что позволило рассмотреть

Таблица 1. Средние значения концентраций гидрохимических компонентов (мг/дм³) и значения pH по зонам Кульдурского термального поля за исследуемые годы

| Выборки по годам | Центральная зона | Промежуточная зона | Фланговая зона | Число анализов |
|---|------------------|--------------------|----------------|----------------|
| Натрий + калий (Na ⁺ +K ⁺) | | | | |
| 1995–1996 | 75.5 (5.9) | 74.5 (6.5) | 71.6 (6.4) | 48 |
| 2007–2008 | 144 (6.8) | 141.2 (8.2) | 140.5 (7.2) | 83 |
| Хлор (Cl ⁻) | | | | |
| 1995–1996 | 28.5 (2.3) | 27.8 (2.1) | 27.8 (2.3) | 48 |
| 2007–2008 | 33.1 (1.4) | 31.3 (2.3) | 33 (1.5) | 83 |
| Сульфат-ион (SO ₄ ²⁻) | | | | |
| 1995–1996 | 9.6 (1.8) | 8.5 (1.5) | 7.7 (1.4) | 48 |
| 2007–2008 | 11.9 (2.9) | 10.4 (2.8) | 11 (3) | 83 |
| Сероводород (H ₂ S) | | | | |
| 1995–1996 | 8.7 (2.6) | 8.7 (2.5) | 8.5 (2.6) | 48 |
| 2007–2008 | 5.4 (0.5) | 5 (0.5) | 5.1 (0.4) | 83 |
| Аммоний (NH ₄ ⁺) | | | | |
| 1995–1996 | 1 (0.4) | 0.4 (0.2) | 0.4 (0.3) | 48 |
| 2007–2008 | 0.3 (0.04) | 0.3 (0.03) | 0.20.07) | 83 |
| Ортокремниевая кислота (H ₄ SiO ₄) | | | | |
| 1995–1996 | 115 (4.4) | 110.5 (4.1) | 108 (3.7) | 48 |
| 2007–2008 | 137.7 (12) | 109.4 (14.2) | 130.3 (11.5) | 83 |
| Кальций (Ca ²⁺) | | | | |
| 1995–1996 | 1.6 (0.2) | 1.7 (0.3) | 1.7 (0.4) | 48 |
| 2007–2008 | 1.9 (0.1) | 1.8 (0.2) | 1.9 (0.2) | 83 |
| Карбонат-ион (CO ₃ ²⁻) | | | | |
| 1995–1996 | 37.7 (8.1) | 37.4 (9.4) | 33.4 (7.3) | 48 |
| 2007–2008 | 42.5 (3.5) | 41.9 (5.2) | 40.6 (4) | 83 |
| Гидрокарбонат-ион (HCO ₃ ⁻) | | | | |
| 1995–1996 | 27.4 (9.1) | 26.1 (10.5) | 24.5 (9.8) | 48 |
| 2007–2008 | 117.6 (13.8) | 125.3 (15.2) | 117.7 (13.9) | 83 |
| pH | | | | |
| 1995–1996 | 9.6 (0.04) | 9.5 (0.07) | 9.5 (0.06) | 48 |
| 2007–2008 | 9.6 (0.1) | 9.7 (0.2) | 9.6 (0.1) | 83 |

Примечание. Средние значения рассчитаны: для центральной зоны по скв. 1-87 и 2-87, для промежуточной – по скв. 3-87 и 3-51, для фланговой – по скв. 5-51. В скобках указано среднее квадратическое отклонение.

общую эволюцию термодинамических и химических параметров кульдурских терм за это время. База данных изучалась выборочно: взяты результаты мониторинга за 1995–1996 гг. и 2007–2008 гг. Математическую обработку производили при помощи программ MS Excel и MathCAD, рассчитаны средние концентрации химических компонентов и среднее квадратическое отклонение.

Средние концентрации химических компонентов в термальных водах. На рис. 3 отображе-

ны средние содержания химических компонентов в термальных водах скв. 1–87, 2–87, 3–87, 3–51, 5–51, рассчитанные по выборкам: 1995–1996 и 2007–2008 гг. Общее число химических анализов во всех выборках составляет 131. Как видно из приведенных данных, среди катионов доминирует Na⁺ (доля K⁺ в сумме Na⁺ + K⁺ в кульдурских термах, как правило, незначительная и составляет приблизительно 1.5–2% [2–4]), а среди анионов – гидрокарбонат-ион, карбонат-ион и хлор. При

этом характерны высокие содержания кремнекислоты. В заметных концентрациях устанавливаются фтор и сульфат-ион, а также сероводород, в незначительных – катионы кальция и аммония, рН растворов достаточно выдержанный (табл. 1).

При рассмотрении приведенных гистограмм и таблицы отчетливо видно, что химический состав воды в скв. 5–51, несмотря на ее низкую температуру (20–25°C), практически идентичен составу высокотемпературных термальных вод в 1–87, 2–87, 3–87, 3–51, что указывает на отсутствие ее заметного разбавления местными подземными водами атмосферного происхождения. Это можно продемонстрировать сравнением ключевых химических параметров воды из скв. 5–51 и из остальных термальных скважин. Так, интервал колебаний рН в скв. 5–51 составляет 9.5–9.6 против 9.5–9.7 в остальных, концентраций $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ – 71.6–140.5 против 75.5–144 мг/дм³, Cl^- – 27.8–33 против 27.7–33.1 мг/дм³; как видно, эти интервалы практически совпадают. В то же время состав холодных подземных вод, используемых для водоснабжения пос. Кульдур и санаториев, существенно другой, что показано в работе одного из авторов [37]. Они имеют нейтральные значения рН и гидрокарбонатно-кальциевый состав. Катион Ca^{2+} в них заметно превалирует над Na^+ , а концентрации анионов Cl^- и F^- так же, как и H_2S и H_4SiO_4 , на порядок ниже, чем в термальной воде.

Пространственно-временные вариации состава воды. С целью более детального рассмотрения вариаций состава кульдурской воды в пространстве и времени составлена таблица, показывающая средние содержания различных компонентов в выделенных температурных зонах – центральной (скв. 1-87 и 2-87), промежуточной (скв. 3-87 и 3-51) и фланговой (скв. 5–51). К настоящему времени непрерывная шкала изменения параметров с 1995 до 2008 гг. еще не построена, поэтому приведены данные только для двух выборок: 1995–1996 и 2007–2008 гг. (табл. 1). В обеих выборках от центра термального поля к периферии однонаправленно меняются концентрации $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , H_2S и H_4SiO_4 , что свидетельствует о наличии в нем определенной гидрохимической зональности. В центральной зоне максимальны содержания $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , H_2S и H_4SiO_4 , к периферии они уменьшаются. При рассмотрении табл. 1 обращает на себя внимание тот факт, что пространственные вариации состава терм между выделенными зонами в каждой выборке небольшие, в то время как временные вариации между выборками разных лет могут быть значительными: concentra-

ции отдельных компонентов отличаются в 2–4 раза. Распределение остальных проанализированных компонентов между центром и периферией месторождения в разные годы может быть различным.

Долговременное изменение состава флюида за период с 1995 до 2008 гг. выражено гораздо отчетливее. Концентрации ионов $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Cl^- и HCO_3^- возрастают, причем существенно: гидрокарбонат-иона примерно в 4 раза, натрий + калий в 2 раза, хлора – на 20% (см. табл. 1). Эти тренды прослеживаются во всех выделенных зонах – центральной, промежуточной и фланговой. При этом следует отметить, что поведение гидрокарбонат- и карбонат-ионов отличается: если первый обнаруживает тенденцию к существенному накоплению, то повышение концентрации CO_3^{2-} незначительно. Содержания сероводорода и иона аммония, наоборот, уменьшаются в указанный период времени, соответственно, на 40% и в 3 раза, но для NH_4^+ это прослеживается только в центральной зоне. Снижение содержания H_2S , относящегося к восстановленным соединениям серы, уравнивается, по крайней мере, частично, встречной тенденцией некоторого увеличения содержания окисленной серы в виде сульфат-иона. Вариации концентраций остальных компонентов менее определены. Так, для ортокремниевой кислоты можно наметить общую слабую тенденцию к увеличению концентраций.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В КУЛЬДУРСКИХ ТЕРМАХ

Методика проведения анализа. Пробы воды для определения качественного состава умеренно-летучих органических соединений отбирали в бутылки из темного стекла с пришлифованной пробкой емкостью 500 мл, предварительно промытые хромовой смесью и дистиллированной водой. До анализа в лаборатории пробы воды хранились в холодном месте не более суток. Концентрат органических соединений получали методом твердофазной экстракции. Через патрон с сорбентом ODS–C18 пропускали 200 мл анализируемой воды. После высушивания патрона в токе аргона экстракт органических соединений получали путем промывки сорбента 1 см³ хлористого метилена и последующим упариванием до 100 мкл. Качественный анализ органических соединений проводили на газовом хроматомасс-спектрометре Shimadzu GCMS-QP2010S. Разделение осуществлялось на кварцевой капиллярной колонке RTX-5 (неподвижная фаза: 5% – фенил, 95% – диметилполисилоксан), внутренний диаметр 0.25 мм,

толщина слоя неподвижной фазы 0.25 мкм, длина колонки 30 м. Скорость потока газа-носителя (гелий марки 70 (99.99999)) 1 мл/мин. Для ввода пробы в хроматограф использовался автоматический дозатор Shimadzu AOC-5000. Анализ проводили в режиме полного ионного тока, значения m/z от 50 до 350, частота сканирования 0.2 сек. Температура инжектора 320°C, температура ионного источника 250°C, температура интерфейса 310°C. Время задержки включения катода после ввода пробы образца в прибор – 3 мин. Начальная температура термостата колонки 40°C, выдержка в течение 2 мин с последующим подъемом температуры со скоростью 10°C/мин до 100°C, подъем температуры со скоростью 15°C/мин до 280°C, выдержка при температуре 280°C в течение 10 мин.

Получены хроматограммы полного ионного тока (ПИТ), которые представляют собой хроматограммы пиков, соответствующие всем умеренно-летучим органическим соединениям, содержащимся в воде. Кроме того, на хроматограммах ПИТ фиксировались также пики молекулярной (циклической) серы, поэтому она представлена в результатах анализа органического вещества. Идентификация пиков осуществлялась по масс-спектрам и индексам удерживания (индекс Ковача). Сравнение проводили с библиотечной (NIST, EPA) и собственной базой данных. Для более надежной идентификации спектры регистрировали в режиме селективного ионного мониторинга

(СИМ) по характеристическим ионам (m/z 57; 60; 91; 128; 142; 178; 256). Для каждого соединения рассчитана относительная доля в процентах, сумма всех соединений, установленных в пробе, равнялась 100%. Твердофазную экстракцию и хроматомасс-спектрометрический анализ проводили в лаборатории Хабаровского краевого центра экологического мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций (КЦЭМП), аналитик – Рапопорт В.Л.

Состав органического вещества. Органические соединения в подземных водах России подробно рассмотрены В.М. Швецом [42, 43]. Следует отметить также работы ряда других исследователей, занимавшихся изучением органического вещества в подземных водах России [1, 3, 6, 8, 14–16, 19, 20, 23, 24, 27, 29, 30, 32, 38, 39, 44, 45]. Исследование органических соединений в водах Кульдурского месторождения начали проводить с 2007 г. Пробы термальной воды для анализа на органическое вещество отбирались в течение трех лет – в июле 2007, октябре 2008 и сентябре 2011 гг. Наиболее полная выборка 2008 г., представляющая скв. 1-87, 3-51 и 5-51. Эти данные позволили рассмотреть распределение органического вещества в пространстве термального поля по выделенным зонам (центральной, промежуточной и фланговой). Дополнительно в 2007 и 2011 гг. выполнены анализы из скв. 1-87 в центральной части поля, а в 2011 г. – и из скв. 3-51,

Таблица 2. Органические соединения в горячих водах, их относительная распространенность и пространственное распределение по зонам Кульдурского термального поля

| № п/п | Гомологические ряды органических соединений | Относительная распространенность, % (по хроматограммам ПИТ) | | |
|-------|---|--|---------------------------|-----------------------|
| | | Центральная зона (1–87) | Промежуточная зона (3–51) | Фланговая зона (5–51) |
| 1 | Алканы | 38.9 (6) | 4.2 (6) | 5.4 (3) |
| 2 | Моноароматические углеводороды | 44 (5) | 1.1 (2) | не обн. |
| 3 | Полиароматические углеводороды | 1.2 (1) | 0.2 (1) | 0.3 (1) |
| 4 | Карбоновые кислоты | не обн. | 63 (12) | 53.3 (7) |
| 5 | Алкены | не обн. | 0.7 (1) | не обн. |
| 6 | Циклоалканы | не обн. | 0.9 (1) | не обн. |
| 7 | Альдегиды | 15.9 (4) | 1.4 (2) | 3.1 (2) |
| 8 | Кетоны | не обн. | 0.2 (1) | не обн. |
| 9 | Моноглицериды | не обн. | 6.6 (1) | 4.3 (2) |
| 10 | Эфиры | не обн. | 9.3 (1) | не обн. |
| 11 | Изопреноиды (стероиды) | не обн. | 12.4 (3) | 33.6 (4) |
| | Всего | 100 (16) | 100 (31) | 100 (19) |

Примечание. В скобках указано количество соединений для каждого гомологического ряда; “не обн.” – соединения не обнаружены. Фталаты исключены из данных, процентное соотношение пересчитано на 100%. Данные опробования 2008 г., лаборатория КЦЭМП, аналитик В.Л. Рапопорт.

представляющей промежуточную зону. На основе этих материалов проведена оценка вариаций состава органического вещества во времени.

Результаты анализа проб, отобранных в 2008 г., позволили выявить значительные качественные и количественные различия в составе воды из центральной, промежуточной и фланговой зон. Органическое вещество в воде из центральной зоны представлено только углеводородами и альдегидами, причем среди углеводородов выявлены только алканы и ароматические соединения (табл. 2). Наиболее разнообразный состав органических соединений в воде из промежуточной зоны. Здесь присутствуют не только все органические компоненты, установленные в воде из центральной зоны, но и целый ряд соединений других гомологических рядов: карбоновых кислот и их эфиров, моноглицеридов, изопреноидов и других. Для воды из фланговой зоны характерны компоненты явно биологического происхождения, типичные для поверхностных вод. Алканы в ней представлены в основном одним компонентом – C₁₁ (ундекан), а ароматические углеводороды практически отсутствуют [22].

Следует отметить, что присутствие фталатов связано, вероятно, с инструментальным загрязнением, при котором септа (мембранная резиновая крышка в инжекторе, отделяющая внутреннюю среду прибора) многократно прокалывается при вводе экстракта в хроматограф. В ходе предыдущих наших исследований умеренно летучих органических соединений на хроматограммах ПИТ также были отмечены пики фталатов [22, 35, 36]. Кроме того, при анализе воды, заведомо лишенной этих соединений (дистиллированная вода, подготовленная для хроматографирования), прибор также регистрирует пики этих соединений. Поэтому при дальнейшем обсуждении результатов эфиры фталевой кислоты упоминаться не будут.

Как видно из рис. 4, изменчивость состава органического вещества в термальных водах Кульдурского поля во времени чрезвычайно велика и значительно превосходит изменчивость неорганических компонентов. Возможно, такие значительные различия частично связаны с сезонными изменениями состава воды, поскольку пробы в 2007, 2008 и 2011 гг. отбирали в разные месяцы. При этом наиболее высокими временными вариациями характеризуются термы из центральной скв. 1-87, где встречены соединения, принадлежащие 8 гомологическим рядам. Здесь относительно устойчивые содержания демонстрируют только алканы. Ароматические углеводороды так-

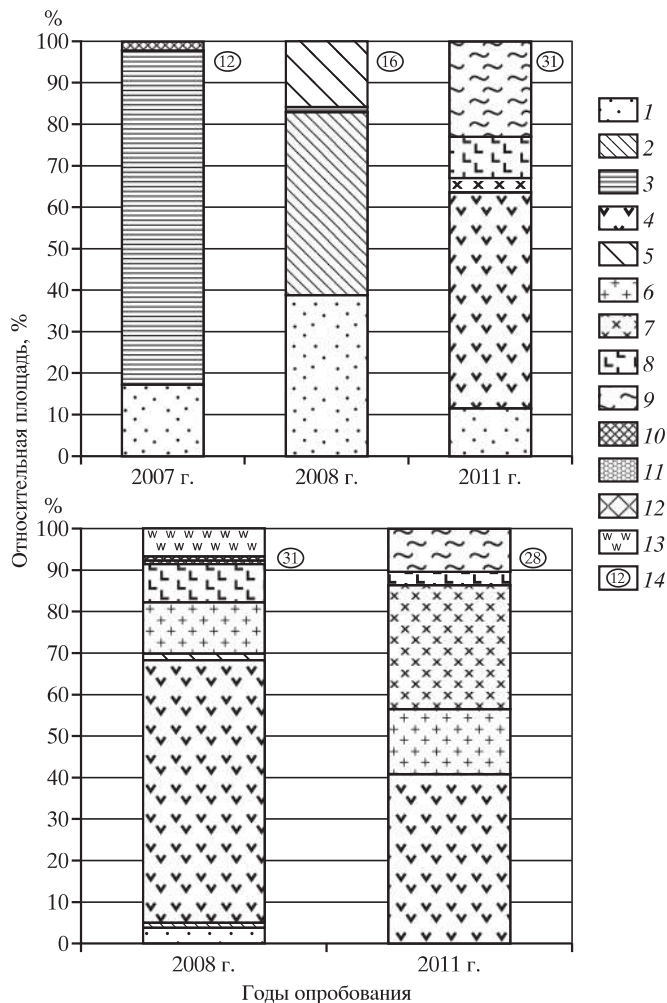


Рис. 4. Процентное соотношение гомологических рядов органических соединений в воде из скв. № 1–87 (вверху) и скв. № 3–51 (внизу) за исследуемые годы: 1 – алканы; 2 – моноароматические углеводороды; 3 – полициклические ароматические углеводороды; 4 – карбоновые кислоты; 5 – альдегиды; 6 – изопреноиды (стероиды); 7 – терпены; 8 – эфиры; 9 – молекулярная сера; 10 – диэтоксиды алканов; 11 – алкены; 12 – циклоалканы; 13 – моноглицериды; 14 – количество органических соединений, установленных в пробе воды в исследуемый год. Фталаты исключены из представленных данных, процентное соотношение пересчитано на 100%.

же установлены во всех пробах, но в 2007 г. резко преобладают полициклические ароматические углеводороды, а 2008 г. – моноароматические. В 2011 г. есть и те, и другие, но в следовых концентрациях. Альдегиды встречены только в пробе 2008 г., а диэтоксиды алканов – в пробе 2007 г. Более разнообразен состав органических соединений по данным 2011 г., когда были выявлены карбоновые кислоты, терпены и эфиры. Примечательно наличие в этой пробе и молекулярной серы. Несколько меньшие вариации состава органического вещества установлены в термальных водах из промежуточной зоны (скв. 3-51). В них за 3 года

не произошло резких изменений в содержаниях карбоновых кислот, изопреноидов и эфиров. Алканы и ароматические углеводороды в небольших количествах присутствуют в обеих пробах, но их концентрации заметно снижаются. Алкены, циклоалканы, альдегиды, кетоны и моноглицериды обнаружены в пробе 2008 г., но содержания этих соединений невелики. В 2011 г. в значительной концентрации установлены терпены, а также молекулярная сера. Всего в кульдурских термах обнаружено 72 органических соединения 12 гомологических рядов.

ИСТОЧНИК ГОРЯЧИХ ВОД КУЛЬДУРСКОГО ПОЛЯ

Как отмечено выше, осуществлявшие разведку кульдурских терм гидрогеологи рассматривали их как типичные напорные трещинно-жильные воды, поднимающиеся с глубин порядка 1–3 км, формирование которых происходит за счет инфильтрационных вод атмосферного происхождения, а нагревание обусловлено эффектом нормального геотермического градиента. Такая трактовка подразумевает отсутствие в термах примеси флюида, поднимающегося из более глубоких областей земной коры. Действительно, в пользу атмосферного генезиса основной части кульдурских терм свидетельствует целый ряд фактов, например, их газовый состав, представленный преимущественно азотом воздушного происхождения, и изотопные соотношения кислорода и водорода. Вместе с тем приведенные в статье структурно-геологические и геохимические данные позволяют говорить о возможности определенного вклада глубинного материала в состав терм.

Прежде всего о глубоко заложении северо-западного разлома, к которому пространственно приурочено Кульдурское месторождение и ряд перечисленных выше термопроявлений, свидетельствует его большая протяженность – до 1000 км, при этом выходы термальных вод прослежены на расстоянии около 400 км. Результаты глубинного изучения данного региона свидетельствуют о поднятии здесь кровли астеносферного слоя до 40–50 км, подтверждающемся существованием частично расплавленных пород [33]. Этому соответствует и тот факт, что дебит и температура кульдурских терм самые высокие в континентальной части юга Дальнего Востока.

Среди неорганических компонентов горячих вод преобладают ионы натрия и хлора, а также сера. Для соседнего Камчатского региона, где термопроявления гораздо более тесно связаны с

магматизмом, эти компоненты весьма характерны. Самородная сера нередко обрамляет выходы фумарол. Ее окисленные и восстановленные соединения в высоких концентрациях присутствуют в газовой фазе, а в диссоциированном виде и в жидкой фазе термальных выходов [11]. В гидротермальных полях Камчатки часто проявлена зональность, которая в наиболее полном виде представлена в кальдере Узон: от наиболее высокотемпературных (93–98°C) хлоридных натриевых вод в центральной части к умеренно-высокотемпературным сульфатным и далее теплым гидрокарбонатным водам на флангах [34]. При этом центральная часть Узонской гидротермальной системы расположена прямо над магматическим очагом, который находится на глубине 1.5–2 км. Хлоридно-натриевые воды – индикаторы максимального вклада эндогенного материала и в пределах Мутновского геотермального месторождения, расположенного в нескольких километрах от одноименного активного вулкана. Здесь А.В. Кирюхин с соавторами [17] использует отношение Cl/SO_4 для трассирования линий стока в геотермальном резервуаре. Восходящие потоки флюидов (пароводяной смеси), которые вскрываются продуктивными скважинами “высокого давления” (более 12 бар), характеризуются отношением $Cl/SO_4 > 1$, в то время как зоны растека и нисходящего давления, вскрытые скважинами “низкого давления”, имеют отношение $Cl/SO_4 < 1$.

В этом контексте показательны анализы на данные компоненты кульдурских термальных вод. В них натрий – главный катион, а хлор – один из главных анионов. Содержания этих ионов в центральной зоне – области максимального притока термальных вод, несколько выше, чем в периферической и фланговой областях их растекания, что прослеживается по двум выборкам. Также ведет себя и другой гипогенный элемент – сера, установленная в восстановленной (H_2S) и окисленной (SO_4) формах. Это не позволяет применить индикаторное отношение Cl/SO_4 для трассирования линий стока в Кульдурском месторождении, особенно с учетом его небольших размеров. Для карбонат- и гидрокарбонат-ионов не наблюдается тенденции к концентрации в центральной зоне: их содержания по направлению к периферии в разных выборках могут как увеличиваться, так и уменьшаться. В целом для Кульдурского месторождения термальных вод, как и для тесно связанных с вулканизмом гидротермальных систем Камчатки, проявляется определенная тенденция к концентрации ионов Na^+ и Cl^- в центральной части поля, которая не просматривается для

ионов CO_3^{2-} и HCO_3^- . Конечно, такая аналогия может быть проведена только косвенно: Камчатка – вулканически активный регион, где магматические очаги часто находятся на глубинах порядка нескольких километров, в то время как глубина залегания расплавленных пород в районе Кульдурского поля, по геофизическим данным, на порядок больше. Тяготение иона Na^+ к центральной части термального поля может объясняться и активным выщелачиванием из вмещающих пород, вследствие более высокой температуры воды в этой части месторождения. Для хлора возможно и наличие его глубинной эманации.

Сравнение органического вещества, определенного нами в Кульдурском поле и некоторых вулканогенных гидротермальных полей Камчатки, также показывает наличие определенного сходства. Так, в пароводяной смеси скв. 4Э Мутновского геотермального месторождения при температуре 175°C и давлении 8 бар на устье установлены только наиболее простые органические соединения – алканы и ароматические углеводороды [46]. Отсутствие в смеси микроорганизмов и большая глубина, с которой поднимаются эти флюиды (1600–2000 м), позволяет предполагать их частично абиогенный генезис; при этом допускается, что большая часть органического материала могла быть извлечена из захороненных остатков организмов в глубокозалегающих горных породах. Эти же соединения – алканы и ароматические углеводороды, резко преобладают и в составе органического вещества из центральной зоны Кульдурского месторождения. Известно, что в биогенном материале (преимущественно в остатках высших растений) n-алканы, содержащие нечетное количество атомов углерода, заметно преобладают над алканами с четным числом атомов углерода в высокомолекулярной области (C_{24} – C_{34}) (индекс CPI, рассчитываемый как отношение суммы алифатических углеводородов с нечетным числом атомов углерода к сумме алканов четного ряда в высокомолекулярной области, значительно более единицы) [26, 31, 47], в то время как в химически синтезированном органическом веществе дифференциация по четности-нечетности атомов углерода отсутствует. В составе высокомолекулярных алканов в воде из скв. 1-87 центральной зоны Кульдурского поля содержания четных и нечетных атомов углерода близки (индекс CPI приблизительно равен единице) [35]. Это свидетельствует в пользу наличия в зоне максимальной разгрузки терм Кульдурского месторождения абиогенного органического материала. На это также указывает тот факт, что алканы, соответствующие наиболее распространенным в

живом мире жирным кислотам (образующиеся в результате декарбоксилирования карбоновых кислот) – тридекан и пентадекан, имеют минимальные относительные содержания, что говорит о наличии другого механизма их образования в этих водах. Учитывая, что в зоне рециркуляции метеорных вод до глубин 2–3 км следует ожидать преобладания биогенного органического вещества, наличие здесь предположительно абиогенных алканов и ароматических углеводородов частично можно связывать с процессами дегазации, происходящими на более глубоких горизонтах земной коры.

Решение вопроса о генезисе органического вещества в термальных водах часто осложняется возможностью высокотемпературного химического ре-синтеза разложенного органического вещества, имевшего первичное биологическое происхождение. В этой связи необходимо принимать во внимание литологический состав разреза в пределах гидротермальных систем, из которых возможно экстрагирование органического материала. В одних случаях (например, Мутновское поле) разрез сложен главным образом вулканическими породами, содержащими незначительное количество органики. Другой пример представляет гидротермальная система кальдеры Узон на Камчатке, в которой, по результатам изучения кернa распространенных здесь озерных отложений до глубины 60 м, четвертая часть разреза представлена слоями, богатыми остатками диатомовых водорослей и высших растений. Биогенный генезис проявлений нефти на Узоне подтвержден по результатам геохимических и изотопных исследований [48]. В пределах Кульдурского поля верхняя часть разреза, изученная скважинами до глубины около 100 м, представлена только гранитами. Более глубокие области литологического разреза остаются пока неизученными.

Таким образом, приведенные структурно-геологические, геофизические и геохимические факты свидетельствуют о том, что Кульдурское месторождение термальных вод не представляет собой исключительно приповерхностную гидротермальную систему, в которой рециркулируют воды только атмосферного происхождения. Кульдурские термы связаны с процессами, уходящими в глубокие области земной коры, и в их составе может присутствовать примесь глубинного материала. Конечно, более определенные выводы по генезису кульдурских термальных вод могут быть сделаны в будущем на основе данных по изотопии и глубинным геотермометрам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В Кульдурском термальном поле намечается слабо проявленная гидрохимическая зональность, которая характеризуется определенным тяготением натрия, хлора и серы к области максимальной разгрузки терм. В составе органического вещества, определенного в водах центральной зоны Кульдурского поля, резко преобладают наиболее простые соединения – алканы и ароматические углеводороды. Соединения этих же гомологических рядов наиболее распространены в высокотемпературной пароводяной смеси ряда Камчатских геотермальных месторождений, расположенных вблизи магматических очагов.

2. Изменчивость состава термальных вод за период с 1995 до 2008 гг. заключается в значительном возрастании содержания ионов натрия, хлора и гидрокарбоната и уменьшении – иона аммония и сероводорода. Изменчивость состава органического вещества в растворах Кульдурского поля во времени чрезвычайно велика и значительно превосходит изменчивость неорганических компонентов. При этом наиболее высокими временными вариациями характеризуются термы из центральной скв. 1-87, где встречены соединения, принадлежащие 8 гомологическим рядам.

3. Приведенные в статье структурно-геологические и геохимические данные позволяют сделать вывод о том, что в составе кульдурских терм могут присутствовать не только рециркулирующие в приповерхностной зоне воды атмосферного происхождения, но и примесь материала, поступающего из более глубоких областей земной коры. Кульдурское месторождение входит в состав цепочки термопроявлений, прослеженных на расстоянии более 400 км, что предполагает глубокое заложение этой ослабленной зоны. При этом результаты глубинного изучения региона свидетельствуют о поднятии здесь кровли астеносферного слоя до 40–50 км, подтверждающим существование частично расплавленных пород и высокого теплового потока. По геохимическим особенностям Кульдурское термальное поле обнаруживает черты сходства с вулканогенными термальными полями Камчатки, хотя такая аналогия и рассматривается нами как косвенная в связи с разной степенью близости к магматическим резервуарам. Как и на Камчатских объектах, в Кульдурском поле горячие воды в области максимальной разгрузки характеризуются наиболее высокими содержаниями натрия, хлора и серы, а также простых органических соединений – алканов и ароматических углеводородов, особенности

состава которых предполагают наличие абиогенной составляющей.

Авторы выражают благодарность генеральному директору санатория “Кульдур” Г.Л. Колесниковой и начальнику Кульдурской гидрогеологической станции санатория А.Л. Кравченко за предоставленные материалы и помощь при проведении исследований.

Данная работа поддержана грантами РФФИ № 10-05-98003-сибирь и № 12-05-98517-восток, а также грантом № 12-1-0-06-033 ДВО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов В.Ю.* Формирование органического химического состава углекислых минеральных вод Эссентукского и Нагутского месторождений // Разведка и охрана недр. 2014. № 5. С. 47–51.
2. *Анерт Э.Э.* Отчет о геологических исследованиях, произведенных в 1910 г. в районе Хабаровск–Бурея // Геологические исследования в золотоносных областях Сибири. Амурско-Приморский золотоносный район. СПб.: Типография М.М. Стасюлевича, 1911. Вып. 11. 73 с.
3. *Анисимов Л.А., Козлова Д.Ф., Казанцева М.О.* Результаты изучения аренов в подземных водах Нижнего Поволжья // Исследования в области органической гидрогеохимии нефтегазоносных бассейнов. М.: Наука, 1982. С. 124–128.
4. *Архипов Б.С.* Химический состав и металлоносность термальных вод северо-восточного Сихотэ-Алиня // Тихоокеанская геология. 2009. Т. 28. № 4. С. 116–122.
5. *Барабанов Л.Н., Дислер В.Н.* Азотные термы СССР. М.: Геоминвод, 1968. 119 с.
6. *Барс Е.А., Коган С.С.* Методическое руководство по исследованию органических веществ подземных вод нефтегазоносных областей. Изд. 2-е, пер. и доп. М.: Недра, 1979. 156 с.
7. *Бахман В.И., Крапивина С.С., Флоренский К.П.* Анализ минеральных вод. 2-е изд. М.: ГНИИКиФ, 1960. 224 с.
8. *Бескровный Н.С., Кудрявцева Т.П.* Особенности органического вещества гидротермальных систем геодинамических поясов на примере Камчатки // Формирование водорастворенного комплекса подземных вод нефтегазоносных бассейнов. Тр. ВНИГРИ, 1977. Вып. 396. С. 121–136.
9. *Богатков Н.М.* Кульдурские термы // Советская геология. 1962. № 8. С. 157–161.
10. *Брагин И.В., Челноков Г.А.* Геохимия термальных вод Сихотэ-Алиня. Газовый аспект // Вестн. ДВО РАН. 2009. № 4. С. 147–151.
11. *Вакин Е.А., Кирсанов И.Т., Кирсанова Т.П.* Термальные поля и горячие источники Мутновского

- вулканического района // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: Изд. ДВНЦ РАН, 1976. С. 85–114.
12. *Васькин А.Ф., Шаруева Л.И.* Геологическая карта ЕАО, 2003 г. [электронный ресурс] // Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского [Офиц. сайт]. URL: http://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/dvfo/evreyskaya_obl/geol_1000.jpg.
 13. Гидрогеология СССР. Т. 23. Хабаровский край и Амурская область / Гл. ред. А.В. Сидоренко. М.: Недра, 1971. 514 с.
 14. *Зингер А.С., Долгова Р.С.* К теории формирования органической составляющей подземных вод // Исследования в области органической гидрогеохимии нефтегазоносных бассейнов. М.: Наука, 1982. С. 51–62.
 15. *Ильченко В.П.* Фенолы, бензол и толуол в конденсационных водах предкавказья // Исследования в области органической гидрогеохимии нефтегазоносных бассейнов. М.: Наука, 1982. С. 127–128.
 16. *Исидоров В.А., Зенкевич И.Г., Карпов Г.А.* Летучие органические соединения в парагазовых выходах некоторых вулканов и гидротермальных систем Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1991. № 3. С. 19–25.
 17. *Кирюхин А.В., Кирюхин В.А., Манухин Ю.Ф.* Гидрогеология вулканогенов. СПб.: Наука, 2010. 395 с.
 18. *Кирюхин В.А., Резников А.А.* Микрокомпоненты в лечебных водах курорта “Кульдур” // Инф. сборник ВСЕГЕИ. Л.: ВСЕГИИ, 1960. № 31. С. 12–21.
 19. *Козлов В.Ф.* Формирование органической составляющей подземных вод // Формирование водорастворенного комплекса подземных вод нефтегазоносных бассейнов. Тр. ВНИГРИ. 1977. Вып. 396. С. 143–154.
 20. *Колодий В.В.* Растворенное органическое вещество конденсационных вод газовых и газоконденсатных месторождений // Геология нефти и газа. 1974. № 7. С. 48–53.
 21. *Компаниченко В.Н., Колесникова Г.Л., Рапопорт В.Л. и др.* Новые данные по биогеохимии кульдурских термальных источников // Матер. 2-й Международ. конф. “Современные проблемы регионального развития”. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, 2008. С. 66–67.
 22. *Компаниченко В.Н., Потурай В.А., Рапопорт В.Л.* Особенности химического состава вод Кульдурского термального поля // Региональные проблемы. 2009. № 12. С. 20–25.
 23. *Конторович А.Э., Данилова В.П., Фомичев А.С.* Геохимия высокомолекулярных компонентов битумоидов в подземных водах нефтегазоносных бассейнов // Органическая геохимия вод и поисковая геохимия. М.: Наука, 1982. С. 52–56.
 24. *Конторович А.Э., Шварцев С.Л., Зуев В.А., Рассказов Н.М., Туров Ю.П.* Органические микропримеси в пресных природных водах бассейнов Томи и Верхней Оби // Геохимия. 2000. № 5. С. 533–544.
 25. *Кулаков В.В.* Геохимия подземных вод Приамурья. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2011. 254 с.
 26. *Кульков М.Г., Коржов Ю.В., Артамонов В.Ю., Углев В.В.* Состав и особенности изменения со временем водорастворимого комплекса органических веществ нефтезагрязненной водной среды // Изв. ТПУ. 2012. Т. 320. № 1. С. 193–199.
 27. *Кудряков В.А.* Органические вещества подземных вод – дополнительный источник нефти и газа // Органическая геохимия вод и поисковая геохимия. М.: Наука, 1982. С. 62–65.
 28. *Макиеров Я.А.* Минеральные источники Дальневосточного края // Вестн. ДВ Филиала АН СССР. 1938. № 28/1. 132 с.
 29. *Мухин Л.М., Бондарев В.Б., Вакин Е.А. и др.* Аминокислоты в гидротермах Южной Камчатки // Докл. АН СССР. 1979. Т. 244. № 4. С. 974–977.
 30. *Мухин Л.М., Пономарев В.В.* Синтез и эволюция органического вещества в вулканах и гидротермах // Гидротермальный процесс в областях тектоно-магматической активности. М.: Наука, 1977. С. 104–110.
 31. *Немировская И.А.* Содержание и состав углеводородов в донных осадках Сахалинского шельфа // Геохимия. 2008. № 4. С. 414–421.
 32. *Огнетова П.М., Домрочева Е.В.* Содержание органических микропримесей в водах зоны активного водообмена юга Кузбасса // Матер. Всерос. сов. по подземным водам востока России. Иркутск: ИрГТУ, 2006. С. 93–97.
 33. *Петрищевский А.М.* Плюмы Приамурья // Современные проблемы регионального развития: материалы II междунар. конф. 2008. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, 2008. С. 78–79.
 34. *Пилипенко Г.Ф.* Гидрохимическая характеристика Узонской термоаномалии // Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. М.: Недра, 1974. С. 83–110.
 35. *Потурай В.А.* Органическое вещество в подземных и поверхностных водах района Кульдурского месторождения термальных вод, Дальний Восток России // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. № 1. Вып. № 21. С. 169–182.
 36. *Потурай В.А.* Органическое вещество в термальных и поверхностных водах района Тумнинского месторождения термальных вод, Дальний Восток России // Изв. ТПУ. 2014. Т. 324. № 3. С. 44–52.
 37. *Потурай В.А.* Сравнение химического состава термальных, сточных и грунтовых вод Кульдурского района // Региональные проблемы. 2010. Т. 13. № 2. С. 92–96.

38. Равдоникас О.В., Балабанова Т.И. Органическое вещество подземных вод Сахалина как признак нефтегазоносности // Формирование водорастворенного комплекса подземных вод нефтегазоносных бассейнов. Тр. ВНИГРИ. 1977. Вып. 396. С. 154–160.
39. Туров Ю.П., Пирогова И.Д., Гузньева М.Ю., Ермашова Н.А. Органические примеси в природных водах в районе г. Стрежевого // Водные ресурсы. 1998. Т. 25. № 4. С. 455–461.
40. Чудаев О.В. Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2003. 216 с.
41. Чудаев О.В., Чудаева В.А., Брагин И.В. Геохимия термальных вод Сихотэ-Алиня // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27. № 6. С. 73–81.
42. Швец В.М. Органические вещества подземных вод как показатели нефтегазоносности // Органическое вещество подземных вод и его значение для нефтяной геологии. М.: Наука, 1967. С. 17–31.
43. Швец В.М., Кирюхин В.К. Органические вещества в минеральных лечебных водах // Бюл. МОИП. Отделение геологии. 1974. Т. 6. С. 83–96.
44. Шнейзер Г.М., Васильева Ю.К., Минеева Л.А. и др. Органические вещества в минеральных водах горноскладчатых областей Центральной Азии // Геохимия. 1999. № 3. С. 302–311.
45. Шнейзер Г.М., Смирнов А.И., Хуторянский В.А. и др. Новые данные о составе органических веществ в минеральных водах // Современные проблемы науки и образования. 2006. № 2. С. 62–64.
46. Kompanichenko V.N., Poturay V.A., Rapoport V.L. Organic Matter in Hydrothermal Systems on the Russian Far East in the Context of Prebiotic Chemistry // Origins of Life and Evolution of Biospheres. 2010. V. 40. № 6. P. 516–517.
47. Simoneit B.R.T. A review of biomarker compounds as source indicators and tracers for air pollution // Environmental science and pollution research international. 1999. V. 6. № 3. P. 159–169.
48. Simoneit B.R.T., Deamer D.W., Kompanichenko V.N. Characterization of hydrothermally generated oil from the Uzon caldera, Kamchatka // Applied Geochemistry. 2009. V. 24. P. 303–309.

HYDROGEOCHEMICAL ZONING AND COMPOSITION EVOLUTION OF KULDUR THERMAL WATER FIELD (THE FAR EAST)

V. N. Kompanichenko, V. A. Poturay

*Institute for Complex Analysis of Regional Problems, Far East Division,
Russian Academy of Sciences, ul. Sholom Aleyhema 4, Birobidzhan 679016, Russia.
E-mail: kompanv@yandex.ru; poturay85@yandex.ru*

The composition of Kuldur thermal water has been specified by means of processing the perennial database. The water manifests alkaline fluoride-chloride-hydrocarbon-silicon-sodium composition. The spatial (zonality elements) and temporal variations in the hydrochemical composition of thermal water are determined. For the period from 1995–1996 to 2007–2008, the solution composition shows a significant increase in sodium, chlorine and hydrocarbonate ion concentrations, and a decrease in ammonium ions and sulphuretted hydrogen concentrations. Twelve homologous series of organics are revealed. For the period of 2007–2011, variations in their concentrations are extremely high, exceeding considerably those of inorganic components. On the basis of structural-geological, geophysical and geochemical data, as well as indirect analogy with volcanic hydrothermal fields in Kamchatka, it is concluded that not only re-cycling atmospheric water but also abyssal fluids contribute to the Kuldur thermal water.

Keywords: *thermal water, hydrochemical composition, organic compounds, variation.*