

**ВАРИАЦИИ СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДАХ КУЛЬДУРСКОГО  
ГЕОТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК РОССИИ)**

*В.Н. Компаниченко, В.А. Потурай*

*ФГБУН Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, ул. Шолом-Алейхема 4, г. Биробиджан, 682200; e-mail: poturay85@yandex.ru*

Поступила в редакцию 11 сентября 2012 г.

В термальных водах Кульдурского месторождения обнаружено 118 умереннолетучих органических соединений, принадлежащих к 17 гомологическим рядам. Характерными компонентами, установленными в водах его центральной зоны, являются алканы и ароматические углеводороды. Изменчивость состава органического вещества в кульдурских термах во времени чрезвычайно велика и значительно превосходит изменчивость неорганических компонентов (исключение составляют только алканы). Наиболее разнообразный состав органических соединений выявлен в пробах термальной воды, отобранных из центральной зоны месторождения в 2013 г. С приближением к флангам вариации состава органического вещества уменьшаются. Некоторые особенности распределения насыщенных углеводородов в наиболее высокотемпературных водах центральной зоны Кульдурского поля предполагают их частично абиогенный генезис.

**Ключевые слова:** термальная вода, органические соединения, алканы, генезис, Кульдурское месторождение, юг Дальнего Востока России.

**ВВЕДЕНИЕ**

Кульдурское месторождение термальных вод располагается во внутриконтинентальной части юга Дальнего Востока, в районе поселка Кульдур Еврейской автономной области (рис. 1). Его первое геологическое описание было дано Э.Э. Анертом в 1910 г. За прошедшее столетие на Кульдурском месторождении было пробурено несколько десятков скважин, изучено геологическое строение района, определен общий химический, микроэлементный и газовый состав вод [1, 5, 11, 13, 20]. Однако состав органических соединений, представляющий и в геохимическом, и в бальнеологическом плане определенный интерес, а также имеющий значение для региональной экологии, в кульдурских термах изучен не был. На сегодняшний день нами накоплен достаточно обширный фактический материал по составу умереннолетучих органических соединений в Кульдурских термах, полученный в ходе экспедиционных работ в период с 2007 по 2013 гг. Целью настоящей работы является изучение умереннолетучего органического вещества в горячих водах месторождения и рассмотрение временных и пространственных вариаций содержаний составляющих его гомологических рядов и соединений.

**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 котором в палеозое произошло внедрение громадных масс гранитной магмы, сопровождавшихся возникновением разрывных дислокаций меридионального направления [11, 12]. В районе выделяются разломы четырех направлений – меридионального, северо-восточного, субширотного и северо-западного. Кульдурские источники выходят в центральной части Пионерского гранитного массива и приурочены к зоне Меридионального разлома на участке пересечения с опережающим его нарушением северо-восточного направления [18]. Наряду с Кульдурским месторождением в районе выделяется и ряд других термопроявлений, которые приурочены к Кульдуру-Быссинской термальной линии, вытянутой в субмеридиональном направле-

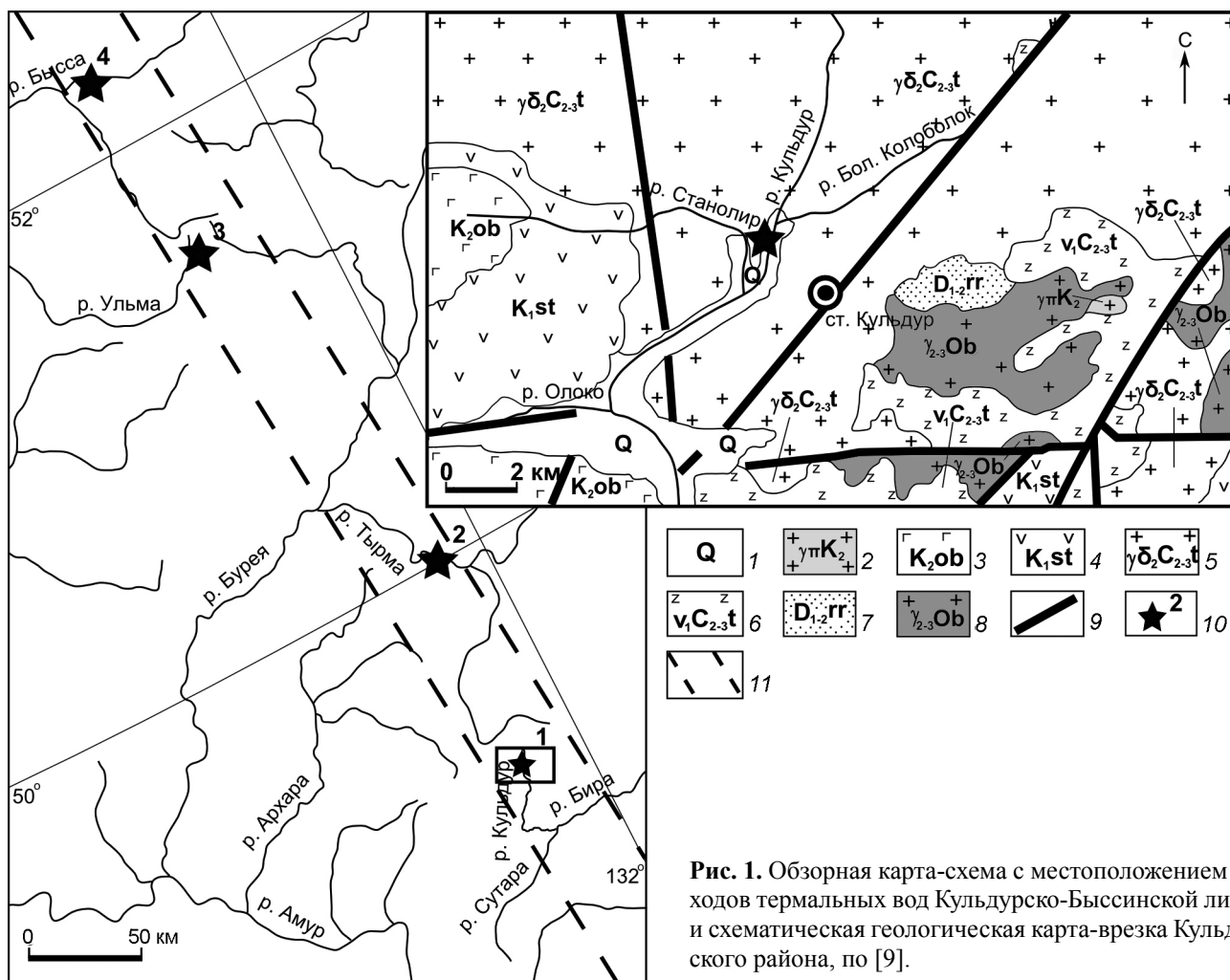


Рис. 1. Обзорная карта-схема с местоположением выходов термальных вод Кульдурско-Быссинской линии и схематическая геологическая карта-врезка Кульдурского района, по [9].

1 – четвертичные аллювиальные отложения; 2 – позднемеловые интрузии: лейкогранит-порфиры, гранит-порфиры, граниты (хингано-олонойский комплекс); 3 – верхнемеловые отложения: обманйская свита – игнимбриты риолитов и трахириолитов, туффиты; 4 – нижнемеловые отложения: станолйрская свита – лавы, лавобрекчии и туфы андезитов, андезибазальты, трахиандезибазальты, базальты, дациты, туффиты; 5–6 – средне-позднекаменноугольные интрузии: тырмо-бурейнский комплекс – гранодиориты, граниты роговообманково-биотитовые порфировидные, кварцевые диориты (5) и габбро, диориты (6); 7 – ниже- и среднедевонские отложения: песчаники, алевролиты, гравелиты, линзы известняков; 8 – ордовикские интрузии: биробиджанский комплекс – граниты, лейкограниты двуслюдяные, гранодиориты; 9 – разрывные нарушения; 10 – термальные источники: Кульдурские (1), Тырминские (2), Ульминские (3), Быссинские (4); 11 – Кульдурско-Быссинская термальная линия.

нии на протяжении около 400 километров (рис. 1) [3]. Кульдурское месторождение термальных вод, являясь наиболее высокодебитным и высокотемпературным среди термальных полей внутриконтинентальной части юга Дальнего Востока, замыкает эту цепочку термопроявлений. Вмещающими породами являются палеозойские граниты и гранодиориты (рис. 1, врезка) [5, 11]. Результаты изучения глубинного строения района позволяют сделать вывод, что он находится на периферии Средне-Амурского плюма [23], характеризующегося частично расплавленными породами, которые находятся в астеносферном слое, на глубине порядка 40–50 км.

### Гидрогеологическая характеристика и состав терм

Термальная площадка месторождения приурочена к правобережной части долины р. Кульдур (левого притока р. Биря), берущей начало с восточных склонов хребта Малый Хинган. В соответствии со структурно-гидрогеологическим районированием Хабаровского края и сопредельных территорий, район месторождения относится к Туранскому гидрогеологическому массиву Селемджа-Бурейнской группы гидрогеологических массивов, входящих в состав Амуро-Охотской гидрогеологической складчатой области.

Согласно результатам геолого-разведочных работ, в районе выделяются 2 водоносных горизонта: горизонт современных аллювиальных отложений и горизонт палеозойских гранитов. Также проявляются воды спорадического распространения аллювиально-делювиальных отложений и термальные воды зон тектонических разрывов в гранитах (Сидоров, 1963 г.). В пределах термальной площадки современные аллювиальные отложения, слагающие пойму р. Кульдур, представлены гравийно-галечным материалом с песчаным заполнителем и валунами мощностью до 5–6 м. Кульдурские термы представляют собой типичные напорные трещинно-жильные воды, поднимающиеся с глубин порядка 2–3 км [5, 11]. Их формирование происходит за счет инфильтрационных вод атмосферного происхождения, а нагревание обусловлено эффектом нормального геотермического градиента [18].

Воды Кульдурского термального поля щелочные фторидно-хлоридно-кремниевые-гидрокарбонатные натриевые, слабоминерализованные. Суммарный дебит эксплуатационных скважин составляет около 2000 м<sup>3</sup> в сутки, водоотбор примерно 1500 м<sup>3</sup>/сут. Температура воды достигает 73°C. Рассчитанная по кварцу базовая температура составляет 103°C [17, 18]. 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/дм<sup>3</sup>. Значение 100Ag/N<sub>2</sub> (1.39) близко к соотношению этих газов для нижних частей атмосферы (1.18), что позволяет предполагать воздушное происхождение азота в термах [5, 17]. Данные соотношений изотопов кислорода и водорода в термальных водах Приамурья указывают на то, что вода, в основном, имеет метеорное происхождение [17, 18, 34]. Содержание общего углерода органического имеет невысокие значения и колеблется в пределах 0.3–3.7 мг/дм<sup>3</sup>, причем минимальные его значения наблюдаются в воде из центральных скважин (1-87, 2-87), а максимальные – в воде из скважины № 3 [26] (рис. 2).

В ходе проведенного нами ранее исследования была установлена временная изменчивость гидрогеохимического состава кульдурских вод за 12-летний период (между 1995–1996 и 2007–2008 гг.), которая заключается в значительном возрастании содержания ионов натрия, хлора и гидрокарбоната (в 2–4 раза), и уменьшении – иона аммония и сероводорода [16]. Пространственная изменчивость (зональность) гидрогеохимического состава терм проявлена слабо и характеризуется небольшим увеличением содержания ионов натрия, хлора и серы в наиболее высокотемпературной области максимальной разгрузки флюида. По ряду ключевых гидрогеохимических параметров была подтверждена аналогия между Кульдурским

месторождением и Тумнинским и Анненским термальными полями на Сихотэ-Алине. Существенное отличие заключается лишь в незначительном распространении в последних иона хлора. Вместе с тем установлены некоторые общие особенности кульдурских терм и вод других гидрогеохимических типов, распространенных на Камчатке. К их числу относится тенденция к определенному увеличению концентраций иона хлора к зоне максимальной разгрузки терм [8, 14, 16, 24].

Следует отметить работы ряда других исследователей, внесших вклад в изучение различных аспектов геологии Кульдурского поля и его ближайших аналогов – Анненских и Тумнинских терм [2, 6, 7, 32–34].

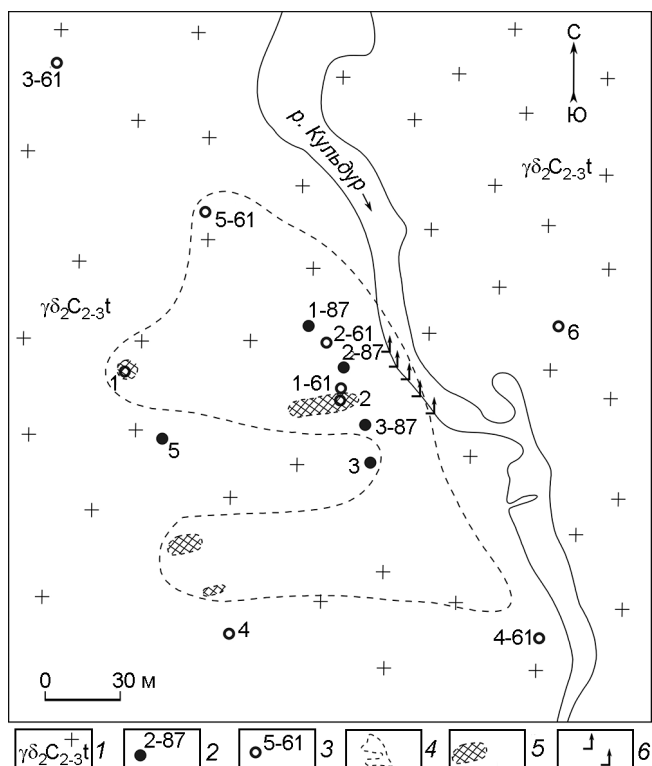
### **Распределение температур в пределах месторождения**

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 месторождения. Наиболее высокотемпературные воды (71–73 °C) вскрываются скв. 1-87 и 2-87 (рис. 2). Эти скважины характеризуются не только наивысшей температурой, но и наибольшим дебитом, что позволяет рассматривать эту часть месторождения как его центральную зону, совпадающую с областью максимальной разгрузки терм. Скважины 3-87 и 3 на поверхности располагаются на удалении от центральных скважин всего в 20–30 м и тоже, по-видимому, попадают в водоподводящую зону дробления, но температура воды (55–60 °C) и дебит здесь уже существенно ниже. На основе этих показателей данная часть месторождения рассматривается как промежуточная зона, располагающаяся между центральной и фланговой зонами. На флангах скважины (№ 5 и другие) вскрывают только теплые или холодные воды. Вода из скв. № 3-87, 3 и 5 не используется санаториями вследствие более низкой температуры. Эти скважины являются закрытыми, на них проводятся только режимные наблюдения, водоотбор из них не осуществляется, поэтому они характеризуются достаточно застойным гидрохимическим режимом.

### **ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В КУЛЬДУРСКИХ ТЕРМАХ**

#### **Методика проведения анализа**

Пробы воды для определения качественного состава умереннолетучих органических соединений отбирали в бутылки из темного стекла с пришлифо-



**Рис. 2.** Схема Кульдурского геотермального месторождения, по [18].

1 – позднепалеозойская водоносная зона трещиноватости интрузивных пород – граниты (современные аллювиальные отложения сняты); 2 – скважина, на которой осуществляется мониторинг температуры, уровня и химического состава, ее номер; 3 – разведочная скважина и ее номер; 4 – контур температуры подземных вод (60–70 °С) на глубине 50–100 м от поверхности; 5 – очаги приповерхностной разгрузки термальных вод с температурой более 70 °С, зафиксированные в 1927 г.; 6 – разгрузка термальных вод в русло р. Кульдур

ванной пробкой емкостью 500 мл, предварительно промытые хромовой смесью и дистиллированной водой. До анализа в лаборатории пробы воды хранились в холодном месте не более двух суток. Концентрат органических соединений получали методом твердофазной экстракции. Через патрон с сорбентом ODS–C18 пропускали 100 мл анализируемой воды. После высушивания патрона в токе аргона, экстракт органических соединений получали путем промывки сорбента 500 мкл хлористого метилена и последующим упариванием до 50 мкл. Начиная с 2011 г., для более надежной идентификации, в упаренные экстракты стали добавлять 1 мкл раствора внутренних стандартов (ISTD 1,4 дихлорбензол d4, нафталин d8, аценафтен d10, фенантрен d10, хризен d12, перилен d12, с концентрацией 0.1 мкг/мкл каждого). Качественный анализ органических соединений проводили на газовом хроматомакс-спектрометре Shimadzu

GCMS-QP2010S в лаборатории Хабаровского краевого центра экологического мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций (КЦЭМП), аналитик – В.Л. Рапопорт. Пробы 2013 г. параллельно были проанализированы на хроматомакс-спектрометре Shimadzu GCMS-QP2010 ultra в лаборатории ИКАРП ДВО РАН. Разделение осуществлялось на кварцевой капиллярной колонке RTX-5 (неподвижная фаза 5 % – фенил, 95 % – диметил-полисилоксан), внутренний диаметр 0.25 мм, толщина слоя неподвижной фазы 0.25 мкм, длина колонки 30 м. Скорость потока газ-носителя (гелий марки 70 (99.9999)) 1 мл/мин. Для ввода пробы в хроматограф использовался автоматический дозатор Shimadzu AOC-5000. Анализ проводился в режиме полного ионного тока, значения m/z от 50 до 350, частота сканирования 0.2 сек. Температура инжектора 320 °С, температура ионного источника 250 °С, температура интерфейса 310 °С. Время задержки включения катода после ввода пробы образца в прибор – 4 мин. Начальная температура термостата колонки 40 °С, выдержка в течение 4 мин с последующим подъемом температуры со скоростью 7 °С/мин до 300 °С, выдержка при температуре 300 °С в течение 10 мин. Были 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 проводилось 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 была рассчитана относительная доля в процентах, сумма всех соединений, установленных в пробе, равнялась 100 %.

### Состав органического вещества в Кульдурских термах

Пробы термальной воды для изучения органического вещества отбирались в течение четырех лет – в июле 2007, октябре 2008, сентябре 2011 и октябре 2013 гг. Наиболее полными являлись выборки 2008 и 2011 гг., представляющие скважины 1-87, 3 и 5. Эти данные позволили рассмотреть распределение органического вещества в пространстве поля по выделенным температурным зонам (центральной, промежуточной и фланговой). Дополнительно в 2007 и 2013 гг. выполнены анализы из скважины 1-87 в центральной

части поля. На основе этих материалов проведена оценка вариаций состава органического вещества во времени. Гомологические ряды установленных органических соединений и их относительные содержания представлены на рис. 3. Полный список соединений приведен в табл. 1.

Следует отметить, что присутствие фталатов вызвано, вероятно, инструментальным загрязнением

(локализуемым в системе узла ввода пробы образца в прибор). Кроме того, эти эфиры присутствуют и в патронах ODS C18, используемых при экстракции. В ходе наших предыдущих исследований умеренно летучих органических соединений на хроматограммах ПИТ также фиксировались пики этих соединений [15, 25, 26, 28, 37]. При анализе дистиллированной воды и растворителя, используемого при анализе, прибор

Таблица 1. Органические соединения в Кульдурских термах.

компонент	место отбора пробы*	компонент	место отбора пробы*
<b>Алканы</b>		алкоголь (3 изомера)	4
нонан	2, 4	алкил-диоксан-метанол (3 изомера)	4
декан	2-6, 8	<b>Альдегиды</b>	
ундекан	2-8	гексаналь	8
додекан	1-8	октаналь	2, 4, 8
тридекан	1, 4-6, 8	нонаналь	2-5, 7, 8
тетрадекан	1-6, 8	деканаль	2, 4, 5, 7, 8
пентадекан	1-3, 6, 8	ундеканаль	2, 4
гексадекан	1, 3, 6, 8	додеканаль	4
гептадекан	1, 4, 6, 8	тетрадеканаль	4
октадекан	4, 6-8	гексадеканаль	4
нонадекан	4	<b>Кетоны</b>	
эйкозан	4, 6	геранил-ацетон	5
генэйкозан	4	4-герт-бутилацетофенон	4
докозан	4, 6, 8	фенил кетон	4
трикозан	4, 6, 8	6,10,14-триметил-2-пентадеканон	4
тетракозан	4, 6, 8	кетон	4
пентакозан	3, 4, 6, 8	циклопентанон	8
гексакозан	3, 4, 6, 8	циклогесанон	8
гептакозан	3, 4	<b>Карбоновые кислоты</b>	
октакозан	3, 6	гексановая кислота	4
нонакозан	3, 4, 6	октановая кислота	4
триаконтан	3, 4, 6	нонановая кислота	4
гентриаконтан	3, 4	декановая кислота	3-5
дотриаконтан	4	додекановая кислота	3-5, 7
тритриаконтан	4	тридекановая кислота	4
тетратриаконтан	4	9-тетрадеценная кислота	4, 5
пентатриаконтан	4	тетрадекановая кислота	3-8
<b>Изоалканы</b>		9-пентадеценная кислота	5
изоалкан (2 изомера)	4	пентадекановая кислота	3-8
<b>Алкены</b>		9-гексадеценная кислота	3-8
3-метил-2-нонен	5	гексадекановая кислота	3-8
<b>Циклоалканы (нафтены)</b>		ненасыщенная кислота	5
циклогексан	5	насыщенная кислота	5
<b>Диэтоксиды</b>		олеиновая кислота	5, 7
диэтоксидекан	1	октадекановая кислота	5, 7
диэтоксинонан	1		
<b>Спирты</b>			
2-этилгексанол	8		

Примечание. \* 1 – скв. 1-87 (2007 г.); 2 – скв. 1-87 (2008 г.); 3 – скв. 1-87 (2011 г.); 4 – скв. 1-87 (2013 г.); 5 – скв. 3 (2008 г.); 6 – скв. 3 (2011 г.); 7 – скв. 5 (2008 г.); 8 – скв. 5 (2011 г.). Курсивом помечены соединения, не включенные в рис. 3. Анализ проводился в лаборатории КЦМП, аналитик – Рапопорт В.Л.; лаборатории ИКАРП ДВО РАН, аналитик – Потурай В.А.).

Таблица 1 (продолжение).

компонент	место отбора пробы*	компонент	место отбора пробы*
<b>Эфиры</b>		нафталин	1-3, 5, 7, 8
бутил бутират	8	1-метилнафталин	1, 3, 8
3-оксо-2-метилциклопентанэтанат	8	фенантрен	3
9-гексадецениат	5	<b>Амиды</b>	
2,2-диметил-1-(2-гидрокси-1-изопропил)пропил изобутират	3, 4, 6, 8	октадеканамид	4
3-гидрокси-2,2,4-триметилпентил изобутират	3, 4, 8	<b>Моноглицериды</b>	
9-оксо-метил нонаноат	4	моноглицериды (2 изомера)	5, 7
1 трет-бутил,2-метил-1,3-пропандиол диизобутират	4	<b>Хиноны</b>	
метил-дигидрожасминат	4	дигидрохинон	4
этилгексил бензоат	4	<b>Терпены</b>	
метилтетрадеканоат	4	терпенол	4
изопропил миристат	4	сквален	3, 4, 6, 8
2-этилгексил-4 метилбензоат	4	сквален (2 изомера)	4
метил пальмитат	4	<b>Изопреноиды</b>	
изопропил пальмитат	4	стероиды (4 изомера)	4-7
метил октадеканоат	4	стероиды (3 изомера)	4, 8
3-(4-метоксифенил)-, 2-этилгексил пропеноат	4	глицерол трикаприлат	4
10-оксометил октадеканоат	4	<b>сера</b>	
гексадецил октадеканоат	4	Молекулярная сера S8	3, 4, 6
гексадецил тетрадеканоат	4	<b>Фталаты</b>	
<b>Ароматические углеводороды</b>		дизобутилфталат	1-8
толуол	3, 4, 6, 8	дибутилфталат	1-8
этилбензол	2, 3, 8	Бис(2-этилгексил)фталат	1-8
m+p- ксилолы	2, 3, 8	<b>Внутренние стандарты</b>	
o-ксилол	2, 3, 8	ISTD 1,4 дихлорбензол d4	3, 4, 6, 8
этилтолуол	2	ISTD нафталин d8	3, 4, 6, 8
триметилбензол	2	ISTD аценафтен d10	3, 4, 6, 8
алкил бензол C9 (2 изомера)	5	ISTD фенантрен d10	3, 4, 6, 8
<b>Полиароматические углеводороды</b>		ISTD хризен d12	3, 4, 6, 8
2-метилнафталин	1, 3, 8	ISTD перилен d 12	3, 4, 6, 8

регистрировал пики эфиров фталевой кислоты. По этой причине при дальнейшем обсуждении фталаты упоминаются не будут.

Результаты анализа проб, отобранных в 2008 и 2011 гг., позволили выявить значительные качественные и количественные различия в составе воды из центральной, промежуточной и фланговой зон. Характерными органическими соединениями в воде из центральной зоны являются алканы (парафины) и ароматические углеводороды (которые обнаружены в выборках всех четырех лет). Также в воде из этой зоны установлены карбоновые кислоты, альдегиды, эфиры и терпены (табл. 1, рис. 3). Наиболее разнообразный состав органических соединений – в воде из промежуточной и фланговой зон. Здесь присутствуют не только все органические компоненты, установленные в воде из центральной зоны, но и целый

ряд соединений других гомологических рядов: моноглицеридов, изопреноидов и др. Соединения этих рядов, а также карбоновые кислоты и их эфиры широко представлены в живом мире и имеют, вероятно, биогенное происхождение, на это указывает и присутствие в основном только четных карбоновых кислот (содержащих четное число атомов углерода в молекуле), которые продуцируют, преимущественно, живые организмы [30, 38]. Следует отметить, что алканы и ароматические углеводороды, которые широко представлены в воде из скв. 1-87, в промежуточной и фланговой зонах если и установлены, то в незначительных относительных содержаниях.

Как видно из данных, представленных на рис. 3, изменчивость состава органического вещества в термальных водах Кульдурского поля во времени чрезвычайно велика. Ранее было установлено, что состав

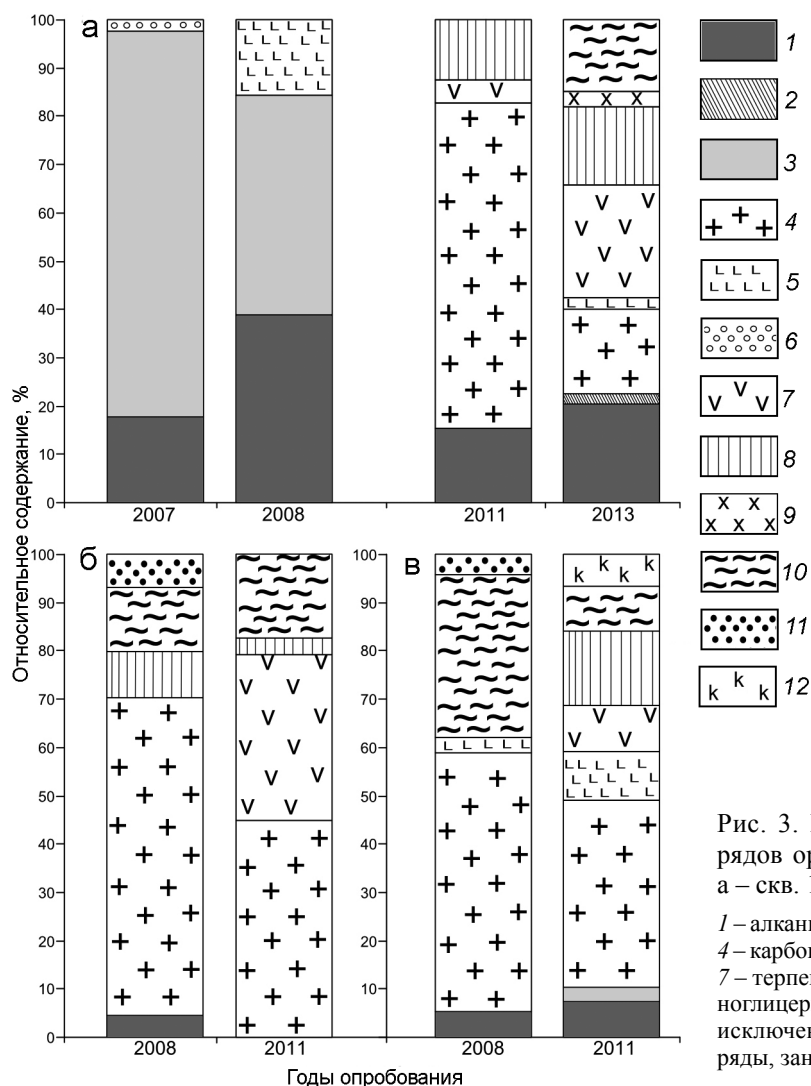


Рис. 3. Процентное соотношение гомологических рядов органических соединений Кульдурских терм: а – скв. 1-87; б – скв.3; в – скв. 5.

1 – алканы; 2 – изоалканы; 3 – ароматические углеводороды; 4 – карбоновые кислоты; 5 – альдегиды; 6 – диэтоксиды; 7 – терпены; 8 – эфиры; 9 – спирты; 10 – стероиды; 11 – моноглицериды; 12 – кетоны. Фталаты и молекулярная сера исключены из представленных данных. Гомологические ряды, занимающие в пробе менее 1 %, не отображены.

и содержание органического вещества в минеральных водах непостоянны во времени и во многом зависят от условий формирования вод [35]. Наиболее высокими временными вариациями характеризуются термы из центральной скважины 1-87, где встречены соединения, принадлежащие 14 гомологическим рядам. Здесь относительно устойчивые содержания демонстрируют только алканы – 17,8 % (2007 г.), 38,9 % (2008 г.), 15,3 % (2011 г.) и 19,9 % (2013 г.). Ароматические углеводороды также установлены во всех выборках, но в 2007 г. резко преобладают полициклические ароматические углеводороды, а 2008 и 2013 гг. присутствуют соединения с одним бензольным кольцом. В 2011 г. есть и те и другие, но в следовых концентрациях. Альдегиды встречены только в пробе 2008 и 2013 гг., а диэтоксиды – в пробах 2007 г. По данным 2011 г., также были выявлены карбоновые кислоты в значительных относительных концентрациях,

терпены и эфиры. Примечательно наличие в этой пробе и молекулярной серы.

Обращает на себя внимание резкое отличие между данными 2007, 2008 годов и 2011, 2013 годов. Причем наиболее разнообразный состав воды наблюдается в 2013 г. Здесь наряду с предельными и ароматическими углеводородами также обнаружены карбоновые кислоты, терпены, эфиры, изоалканы, альдегиды, стероиды, амины, кетоны, хиноны и спирты. Соединения этих рядов типичны для биосферы и имеют, вероятно, биогенный генезис. Учитывая отсутствие смешения атмосферных осадков и холодных подземных вод с термальными (на это указывает стабильность температуры, уровня воды и ионного состава терм в течение года, даже в период сильных дождей), такое разнообразие состава органического вещества в пробах 2011 и особенно 2013 годов, вероятно, связано с внутренними процессами, происходящими в тер-

мальных растворах или в системе вода-порода. Принимая во внимание, что такое отличие и разнообразие состава органического вещества достигается компонентами явно биогенного происхождения, характерными и для воды из фланговой зоны месторождения, и для поверхностных вод [26, 28], можно предположить, что источником их поступления послужили микроорганизмы и их деятельность, возможно за счет увеличения их численности в скважине.

Несколько меньшие вариации состава органического вещества установлены в термальных водах из промежуточной зоны (скв. 3). В них за 3 года – с 2008 до 2011 – не произошло резких изменений в содержаниях карбоновых кислот (63 и 41.1 %, соответственно), изопреноидов (12.4 и 15.4 %) и эфиров (9.3 и 3 %). 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., содержания этих соединений невелики. В 2011 г. в значительной концентрации установлены терпены (29.9 %), а также молекулярная сера (10.6 %). В воде из скважины 5 (фланговая зона) также наблюдаются определенные вариации в составе органического вещества по данным 2008 и 2011 гг. Стабильные относительные содержания наблюдаются только у алканов и карбоновых кислот. Доля терпенов значительно снижается к 2011 г., а моноглицериды вообще не обнаруживаются. По данным 2011 г. установлены также эфиры, кетоны, спирты, терпены и ароматические углеводороды. Всего в кульдурских термах обнаружено 118 органических соединений 17 гомологических рядов.

Для более детального рассмотрения изменчивости состава органического вещества в Кульдурских термах во времени был произведен отбор проб термальной воды из скважины 1-87 в течение суток (3 раза через каждые 12 часов) в октябре 2013 г. В составе органического вещества не произошло больших изменений, однако наблюдается незначительное уменьшение доли терпенов и стероидов и увеличение относительного содержания изоалканов и аминов. Остальные гомологические ряды органических соединений не претерпели в своем составе и в относительных содержаниях видимых изменений в течение суток.

Предварительное сравнение органического вещества в термальных водах Кульдурского месторождения и его сихотэалинских аналогов (Анненские и Тумнинские) сводится к следующему. Согласно результатам наших анализов за 2010–2014 гг., состав органического вещества в воде Анненского и Тумнин-

ского месторождений достаточно разнообразен: в первой установлено 60 органических соединений (12 гомологических рядов), во второй – 65 соединений (12 гомологических рядов) [27, 28]. В Анненских термах наиболее распространены алканы и эфиры, составляющие более 70 % всех органических соединений. Здесь установлены также серосодержащие углеводороды, терпены, ароматические углеводороды, карбоновые кислоты, альдегиды, хиноны, ксантены и др. В воде Тумнинского месторождения выявлены алканы, ароматические углеводороды и терпены, составляющие, соответственно, 36 %, 17 % и 50 % всех органических соединений. Менее распространены гетероциклические соединения, спирты, альдегиды, алкены, кетоны, эфиры, карбоновые кислоты и стероиды.

Достоинством внимания является и сопоставление в этом отношении Кульдурского месторождения с термальными полями других гидрогеохимических типов. Так, определенное сходство установлено при сравнении органического вещества в скв. 1-87 Кульдурского месторождения и скважине 4Э Мутновского геотермального месторождения на Камчатке. На устье скважины 4Э в пароводяной смеси при температуре 175 °С и давлении 8 бар установлены только наиболее простые органические соединения – алканы и ароматические углеводороды [40]. Отсутствие здесь микроорганизмов и большая глубина, с которой поднимаются эти флюиды (1600–2000 м), позволяет предполагать их частично абиогенный генезис [4, 39]. Под абиогенным органическим веществом авторы подразумевают соединения, которые могли образоваться в гидротермальных системах за счет химического синтеза, без участия биохимических процессов, происходящих в живых организмах. Сюда относятся углеводороды, образованные в процессе термодиссоциации из органических остатков (в т.ч. и биогенного происхождения) в зоне повышенных температур и органические соединения, синтезированные из неорганических под действием высоких температур и давления. Эти же соединения – алканы и ароматические углеводороды – обнаружены в выборках всех годов, а в ряде случаев резко преобладают и в составе органического вещества из скв. 1-87 центральной зоны Кульдурского месторождения.

В этой связи представляется интересным рассмотреть распределение нормальных алканов в кульдурских водах, поскольку они являются геохимическими маркерами, т. к. обладают свойствами устойчивости в процессах седиментогенеза и раннего диагенеза [10, 22]. Индекс CPI (Carbon Preference Index), рассчитываемый как отношение суммы алифатических углеводородов (алканов) с нечетным числом атомов



углерода к сумме алканов четного ряда в высокомолекулярной области ( $C_{24}$ - $C_{34}$ ), показывает долю парафинов, образованных при деструкции высших растений [19, 21, 25, 29, 36, 37, 41]. CPI значительно более единицы свидетельствует о том, что алканы образовались за счет деструкции высших растений. CPI равное единице может говорить о нефтяном генезисе алканов, также он может свидетельствовать о некотором вкладе абиогенной составляющей в их образование. В таблице 2 и 3 приведены данные о распределении парафинов в культурских термах. Индекс CPI близок к единице, что говорит об определенном вкладе абиогенной составляющей в образование парафинов в культурских термах. Однако по данным 2007 г. в воде из скв. 1-87 наблюдается только фракция низкомолекулярных алканов, с преобладанием гомологов нечетного ряда, что свидетельствует, скорее всего, о бактериальном их происхождении. Ранее было установлено наличие в культурских термах термофильных бактерий рода *Thermus aquaticus* [31], однако в

водах центральной зоны эти бактерии распространены незначительно. В воде из скважины 3 термофилы достигают большего разнообразия, что связано, по-видимому, с более благоприятной температурой для их развития ( $55-60^{\circ}\text{C}$ ) и застойным гидрохимическим режимом. В промежуточной и фланговой зонах также наблюдается преобладание низкомолекулярных алканов, причем в скв. 5 относительные содержания парафинов с короткими цепями в 10 раз превышают таковые длинноцепочечных предельных углеводородов. В ряде случаев в составе низкомолекулярных алканов в воде из этих зон наблюдается доминирование нечетных гомологов, в основном же такой дискриминации не наблюдается. Это также, по-видимому, связано с деятельностью микроорганизмов, которые продуцируют, как правило, низкомолекулярные насыщенные углеводороды [25, 29, 38].

Следует отметить, что распределение алканов в скв. 1-87, по данным 2013 г., свидетельствует о возросшем влиянии биогенных углеводородов, по-

**Таблица 2. Н-алканы в термах центральной зоны (скв. 1-87) Культурского месторождения, их времена удерживания и относительные содержания.**

Время удерживания*, мин	Наименование компонента, число атомов углерода в молекуле	Доля, %			
		2007 г.	2008 г.	2011 г.	2013 г.
8.760	нонан, $C_9$	не обн.	3.9	не обн.	0.9
11.452	декан, $C_{10}$	не обн.	37.1	8.3	3
13.930	ундекан, $C_{11}$	не обн.	43.9	12.4	1.3
16.180	додекан, $C_{12}$	2.3	6.2	3.5	1.1
18.265	тридекан, $C_{13}$	22.1	не обн.	не обн.	0.7
20.209	тетрадекан, $C_{14}$	11.9	5.3	3.6	0.8
22.035	пентадекан, $C_{15}$	27.6	3.6	4.6	не обн.
23.757	гексадекан, $C_{16}$	18.4	не обн.	4.4	0.1
25.388	гептадекан, $C_{17}$	17.7	не обн.	не обн.	1
26.937	октадекан, $C_{18}$	не обн.	не обн.	не обн.	1.1
28.410	нонадекан, $C_{19}$	не обн.	не обн.	не обн.	1.6
29.817	эйкозан, $C_{20}$	не обн.	не обн.	не обн.	1.9
31.162	генэйкозан, $C_{21}$	не обн.	не обн.	не обн.	1.7
32.446	докозан, $C_{22}$	не обн.	не обн.	не обн.	3
33.684	трикозан, $C_{23}$	не обн.	не обн.	не обн.	5.2
34.867	тетракозан, $C_{24}$	не обн.	не обн.	не обн.	6.8
36.010	пентакозан, $C_{25}$	не обн.	не обн.	4.4	8.8
37.130	гексакозан, $C_{26}$	не обн.	не обн.	9.5	11.2
38.169	гептакозан, $C_{27}$	не обн.	не обн.	10.8	11.5
39.187	октакозан, $C_{28}$	не обн.	не обн.	12.6	не обн.
40.173	нонакозан, $C_{29}$	не обн.	не обн.	14.3	10.5
41.128	триаконтан, $C_{30}$	не обн.	не обн.	6.7	9
42.125	гентриаконтан, $C_{31}$	не обн.	не обн.	4.9	7.5
43.259	дотриаконтан, $C_{32}$	не обн.	не обн.	не обн.	5.1
44.576	тритриаконтан, $C_{33}$	не обн.	не обн.	не обн.	3.1
46.128	тетратриаконтан, $C_{34}$	не обн.	не обн.	не обн.	2
47.979	пентатриаконтан, $C_{35}$	не обн.	не обн.	не обн.	1.2

*Примечание.* \* Время, прошедшее от момента ввода пробы в колонку до выхода максимума соответствующего пика; «не обн.» – компонент не установлен.

Таблица 3. Распределение n-алканов в Кульдурских термах.

Проба	Фракция	C <sub>max</sub>	CPI	нч/ч	н/в
скв. 1-87 (2007г.)	C <sub>12</sub> -C <sub>17</sub>	C <sub>15</sub>	-	2	-
скв. 1-87 (2008г.)	C <sub>9</sub> -C <sub>15</sub>	C <sub>11</sub>	-	1	-
скв. 1-87 (2011г.)	C <sub>10</sub> -C <sub>16</sub> ; C <sub>25</sub> -C <sub>31</sub>	C <sub>11</sub> ; C <sub>29</sub>	1.2	1	0.6
скв. 1-87 (2013г.)	C <sub>9</sub> -C <sub>35</sub>	C <sub>27</sub> , C <sub>29</sub>	1.3	1.3	0.3
скв. 3 (2008г.)	C <sub>10</sub> -C <sub>14</sub>	C <sub>11</sub>	-	1	-
скв. 3 (2011г.)	C <sub>10</sub> -C <sub>30</sub>	C <sub>29</sub>	0.9	0.7	1.3
скв. 5 (2008г.)	C <sub>11</sub> , C <sub>12</sub> , C <sub>18</sub>	C <sub>11</sub>	-	4.6	-
скв. 5 (2011г.)	C <sub>10</sub> -C <sub>18</sub> ; C <sub>22</sub> -C <sub>26</sub>	C <sub>11</sub> ; C <sub>26</sub>	-	0.9	10.3

Примечание: нч/ч – отношение алканов с нечетным числом атомов углерода к алканам четного ряда во всей области распространения; н/в – отношение низкомолекулярных алканов к высокомолекулярным. «-» – индекс не рассчитан из-за отсутствия высокомолекулярных гомологов в пробе.

сколькo отмечается слабое преобладание нечетных гомологов в высокомолекулярной области. Причем максимумы попадают как раз на углеводороды C<sub>27</sub> и C<sub>29</sub>, характерные для высших растений. Также, по данным этого года, установлены карбоновые кислоты, в основном содержащие четное число атомов углерода с максимумом, приходящимся на гексадекановую (миристиновую) кислоту, что свидетельствует о биогенном источнике их поступления [38]. Эти факты подтверждаются, в частности, и увеличением разнообразия состава органического вещества по данным этого года, которое появилось в основном за счет соединений явно биогенного происхождения, о чем уже говорилось выше. Однако такие изменения наблюдаются только в 2013 г., по данным 2007, 2008 и 2011 гг. сравнительно бедный состав органического вещества и особенности распределения алканов говорят об определенном вкладе абиогенной составляющей в их происхождение. Особенности состава алканов и присутствие некоторых ароматических углеводородов в Тумнинских термах также подразумевают их абиогенный генезис [28]. 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, либо с химическим синтезом, протекающим в специфических термобарических условиях гидротермальных систем.

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 характер литологического разреза в пределах гидротер-

мальных систем, из которых возможно экстрагирование органического материала. В одних случаях (например, Мутновское месторождение) разрез сложен главным образом вулканическими породами, содержащими незначительное количество органики. Другой пример представляет гидротермальная система кальдеры Узон на Камчатке, в которой, по результатам изучения керна распространенных здесь озерных отложений до глубины 60 метров, 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 [42]. В пределах Кульдурского поля верхняя часть разреза, изученная скважинами до глубины около 100 м, представлена только гранитами, однако в сравнительной близости от месторождения наблюдается небольшое поле девонских осадочных пород (рис. 1), что не исключает возможность образования абиогенных алканов в Кульдурских термах за счет ре-синтеза остатков органического вещества, имевшего первичное биогенное происхождение.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования были оценены вариации состава органического вещества средней летучести в пространстве термального поля по выделенным зонам и во времени. В кульдурских термальных водах установлено 118 умереннолетучих органических соединения 17 гомологических рядов, из них 98 соединений 14 гомологических рядов встречены в зоне максимальной разгрузки терм (скв. 1-87). В Кульдурском геотермальном месторождении намечается слабо проявленная гидрогеохимическая зональность. Характерными органическими соединениями, установленными в водах центральной зоны Кульдурского поля, являются алканы и ароматические углеводороды, которые установлены в выбор-

ках всех четырех лет, а в ряде проб резко доминируют. Соединения этих же гомологических рядов наиболее распространены в термальных водах Сихотэ-Алиня (Анненские, Тумнинские) и в высокотемпературной пароводяной смеси ряда Камчатских геотермальных месторождений, расположенных вблизи магматических очагов. Для органического вещества, определенного в водах промежуточной и фланговой зон Кульдурского месторождения, типичны соединения явно биогенного генезиса – это карбоновые кислоты и их эфиры, моноглицериды и стероиды, характерные для поверхностных вод.

Изменчивость состава органического вещества в растворах Кульдурского поля во времени чрезвычайно велика и значительно превосходит изменчивость состава неорганических компонентов (исключение представляют только алканы). Наблюдается значительное различие по данным 2007, 2008 гг. и 2011, 2013 гг., причем наиболее разнообразный состав органического вещества в термах из центральной зоны месторождения наблюдается в 2013 г. Учитывая биогенное происхождение компонентов, установленных только в пробах 2011 и 2013 г., можно предположить, что такое разнообразие появилось вследствие микробиологической деятельности. С удалением от центральной зоны вариации состава органического вещества уменьшаются.

Некоторые особенности распределения насыщенных углеводородов (н-алканов) предполагают их частично абиогенный генезис в наиболее высокотемпературных водах центральной зоны Кульдурского геотермального месторождения.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую 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-И-0-06-033 ДВО РАН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анерт Э.Э. Отчет о геологических исследованиях, произведенных в 1910 г. в районе Хабаровск-Буря // Геологические исследования в золотоносных областях Сибири. Амурско-Приморский золотоносный район. СПб.: Типография М.М. Стасюлевича, 1911. Вып. 11. 73 с.
2. Архипов Б.С. Химический состав и металлоносность термальных вод северо-восточного Сихотэ-Алиня // Тихоокеан. геология. 2009. Т. 28, № 4. С. 116–122.
3. Барабанов Л.Н., Дислер В.Н. Азотные термы СССР. М.: «Геоминвод», 1968. 119 с.
4. 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.
5. Богатков Н.М. Кульдурские термы // Сов. геология. 1962. № 8. С. 157–161.
6. Богатков Н.М., Кулаков В.В. Анненские термы // Сов. геология. 1966. № 5. С. 153–155.
7. Брагин И.В., Челноков Г.А. Геохимия термальных вод Сихотэ-Алиня. Газовый аспект // Вестн. ДВО РАН. 2009. № 4. С. 147–151.
8. Вакин Е.А., Кирсанов И.Т., Кирсанова Т.П. Термальные поля и горячие источники Мутновского вулканического района // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: ДВНЦ РАН, 1976. С. 85–114.
9. Васькин А.Ф., Шаруева Л.И. Геологическая карта ЕАО, 2003 г. [электронный ресурс] // Всерос. науч.-исслед. геол. ин-т им. А.П. Карпинского [Официальный сайт]. URL: [http://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/dvfo/evreyskaya\\_obl/geol\\_1000.jpg](http://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/dvfo/evreyskaya_obl/geol_1000.jpg).
10. Гаретова Л.А. Углеводороды в лагунном эстуарии Татарского пролива // Изв. ТИНРО. 2013. Т. 172. С. 196–207.
11. Гидрогеология СССР. Т. 23. Хабаровский край и Амурская область. М.: Недра, 1971. 514 с.
12. Иванов В.В., Овчинников А.М., Яроцкий Л.А. Карта подземных минеральных вод СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1960.
13. Кирюхин В.А., Резников А.А. Микрокомпоненты в лечебных водах курорта «Кульдур» // Инф. сб. ВСЕГЕИ, 1960. № 31.
14. Кирюхин А.В., Кирюхин В.А., Манухин Ю.Ф. Гидрогеология вулканогенов. СПб.: Наука, 2010. 395 с.
15. Компаниченко В.Н., Потурай В.А., Рапопорт В.Л. Особенности химического состава вод Кульдурского термального поля // Регион. проблемы. 2009. № 12. С. 20–25.
16. Компаниченко В.Н., Потурай В.А. Гидрогеохимическая зональность и эволюция состава Кульдурских терм (Дальний Восток) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2015. (в печати).
17. Кулаков В.В. Геохимия подземных вод Приамурья. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2011. 254 с.
18. Кулаков В.В. Геолого-структурные и геотермальные условия формирования термальных подземных вод Приамурья // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 5. С. 66–79.
19. 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.
20. Макеров Я.А. Минеральные источники Дальневосточного края // Вестн. ДВ Филиала АН СССР. Хабаровск, 1938. № 28/1. 132 с.
21. Немировская И.А. Содержание и состав углеводородов в донных осадках Сахалинского шельфа // Геохимия. 2008. № 4. С. 414–421.
22. Пересыпкин В.И., Смуров А.В., Шульга Н.А. и др. Состав органического вещества воды, взвеси и донных осадков залива Нячанг (Вьетнам, Южно-Китайское море) // Океанология. 2011. Т. 51, № 6. С. 1020–1029.
23. Петрищевский А.М. Плюмы Приамурья // Современные проблемы регионального развития: Материалы II-ой междунар. конф., 6–9 октября 2008 г. Биробиджан–Кульдур. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, 2008. С. 78–79.

24. Пилипенко Г.Ф. Гидрохимическая характеристика Узонской термоаномалии // Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. М., Недра, 1974. С. 83–110.
25. Потехин В.М., Сыроежко А.М., Пекаревский Б.В. Теоретические основы процессов переработки природных энергоносителей. Ч. I / Учеб. пособие. СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2010. 156 с.
26. 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.
27. Потурай В.А. Умеренно летучие органические соединения в термальных водах Анненского месторождения, Дальний Восток России // Тезисы VII Всерос. школы-семинара молодых ученых, аспирантов и студентов «Территориальные исследования: цели, результаты и перспективы», 24–26 сентября 2013 г. Биробиджан. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН–ФГБОУ ВПО «ПГУ им. Шолом-Алейхема», 2013. С. 28–31.
28. 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.
29. Сваровская Н.А. Химия нефти и газа. Томск: ТПУ, 2006. 111 с.
30. Строева А.Р., Гируц М.В., Кошелев В.Н., Гордадзе Г.Н. Бактериальный синтез n-алканов с нечетным числом атомов углерода в молекуле // Нефтехимия. 2013. Т. 53, № 5. С. 374–377.
31. Фишер Н.К., Компаниченко В.Н. Термофильные бактерии в Кульдурских горячих источниках // Территориальные исследования цели, результаты, перспективы. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, 2007. С. 156–159.
32. Чудаев О.В. Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2003. 216 с.
33. Чудаев О.В., Чудаева В.А., Брагин И.В. Геохимия термальных вод Сихотэ-Алиня // Тихоокеан. геология. 2008. Т. 27, № 6. С. 73–81.
34. Чудаев О.В., Чудаева В.А., Брагин И.В. и др. Геохимия азотных терм Дальнего Востока России и Забайкалья // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Материалы третьей Всерос. конф. с междунар. участием. Барнаул, 24–28 августа 2010 г. Барнаул. Барнаул: Изд-во АРТ, 2010. С. 292–295.
35. Швец В.М., Кирюхин В.К. Органические вещества в минеральных лечебных водах // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1974. Т. 6. С. 83–96.
36. Bray E.E., Evans E.D. Distribution of n-paraffines as a clue to recognition of source beds // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1961. V. 22, N 1. P. 2–15.
37. Bray E.E., Evans E.D. Hydrocarbons in non reservoir-rock source beds // Am. Assoc. Pet. Geol. Bull. 1965. V. 49, N 3. P. 248–257.
38. Hunt J.M. Petroleum geochemistry and geology. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1979. 617 p.
39. Isidorov V.A., Zenkevich I.G., Karpov G.A. Volatile organic compounds in steam-gas outflows of several volcanoes and hydrothermal systems in Kamchatka // J. Volcanology and Seismology. 1992. V. 13, N 3. P. 287–293.
40. 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. Netherlands: Dordrecht, 2010. V. 40. P. 516–517.
41. Simoneit B.R.T. A review of biomarker compounds as source indicators and tracers for air pollution // Environmental science and pollution research international. Berlin Heidelberg: Springer, 1999. V. 6, N 3. P. 159–169.
42. Simoneit B., Deamer D., Kompanichenko V. Characterization of hydrothermally generated oil from the Uzon caldera, Kamchatka // Applied Geochem. 2009. V. 24. P. 303–309.

Рекомендована к печати О.В. Чудаевым

*V.N. Kompanichenko, V.A. Poturay*

### **Variations in organic matter composition in waters of the Kuldur thermal field, the Far East of Russia**

118 moderately volatile organic compounds of the 17 homologous series were found in thermal water of the Kuldur field. Typical components recognized in its central zone are alkanes and aromatic hydrocarbons. Variability of organic matter composition in the waters of the Kuldur field in time is extremely high and far exceeds the variability of inorganic components (the only except for alkanes). A wide variety of composition of organic compounds was determined in the samples from the central zone of the field in 2013. The variations in the organics composition decrease towards the flank. Saturated hydrocarbons (n-alkanes) distributed in high-temperature waters of the central zone of the Kuldur field display some peculiar features suggesting their particulate abiotic origin.

**Keywords:** thermal water, organic compounds, alkanes, variation, genesis, Kuldur field, southern Far East of Russia.