

*На правах рукописи*



**ПОТУРАЙ ВАЛЕРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ**

**ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ПОЛУОСТРОВНЫХ И  
КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ДАЛЬНЕГО  
ВОСТОКА**

Специальность 25.00.07 – Гидрогеология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Биробиджан – 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте комплексного анализа региональных проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук

Научный руководитель:

**Компаниченко Владимир Николаевич**

кандидат геолого-минералогических наук,  
ведущий научный сотрудник ФГБУН Института  
комплексного анализа региональных проблем  
ДВ РАН

Официальные оппоненты:

**Бортникова Светлана Борисовна**

доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, заведующая лабораторией  
геоэлектрохимии ФГБУН Института  
нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.  
Трофимука СО РАН (г. Новосибирск)

**Павлов Сергей Харитонович**

кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник лаборатории  
гидрогеологии ФГБУН Института земной коры  
СО РАН (г. Иркутск)

Ведущая организация:

ФГБУН Тихоокеанский океанологический  
институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН  
(г. Владивосток)

Защита состоится **27 июня 2019 г. в 9<sup>00</sup> часов** на заседании диссертационного совета Д 003.022.01 при ФГБУН Институте земной коры СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, конференц-зал

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института земной коры СО РАН и на сайте: <http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsfull177/1772.pdf>

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направить по указанному адресу ученому секретарю совета к.г.-м.н. В.В. Акуловой  
Тел: (3952) 426133, e-mail: [akulova@crust.irk.ru](mailto:akulova@crust.irk.ru)

Автореферат разослан «    » апреля 2019 г

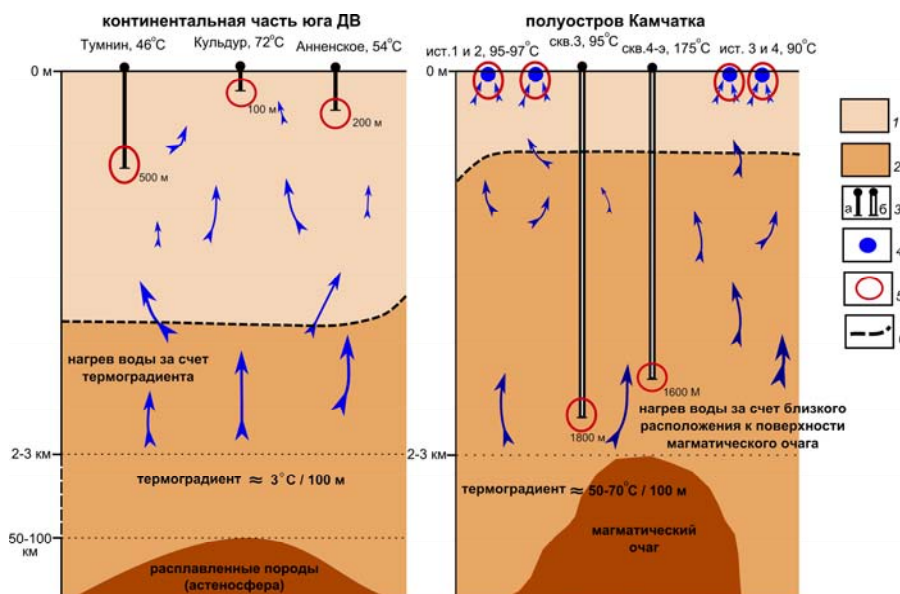
Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 003.022.01  
кандидат геолого-минералогических наук



В.В. Акулова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** На территории Российского Дальнего Востока распространены геотермальные месторождения с температурой до 100 °С и выше. Их формирование обусловлено как нормальным геотермическим режимом, при котором воды нагреваются за счет термоградиента в результате рециркуляции через глубокие области земной коры (континентальная часть Дальнего Востока), так и магматогенным геотермическим режимом, который поддерживается близким расположением магматического очага к поверхности (полуостров Камчатка) (рис. 1). В первом случае, термальные воды обладают сравнительно невысокой температурой (ниже 80 °С), что позволяет существовать разнообразным термофильным комплексам [Калитина и др., 2017; Фишер, Компаниченко, 2007]. Органическое вещество (ОВ) здесь большей своей частью продуцируется живыми организмами, однако, некоторая часть ОВ, вероятно, может образовываться за счет ре-синтеза экстрагированных из вмещающих пород органических остатков. Во втором случае, гидротермальные системы зачастую имеют более высокую температуру воды (выше 80 °С), и их приповерхностные области населены сообществами гипертермофилов [Варфоломеев, 2013; Бонч-Осмоловская, 2004]. Однако более глубокие области остаются стерильными (безжизненными), вследствие экстремально высоких температур (выше 110–120 °С). Происхождение ОВ в таких областях связано, вероятно, с термогенным синтезом, протекающим без участия живых организмов. Учитывая слабую изученность данных процессов в различных гидрогеологических обстановках дальневосточных гидротермальных систем, изучение в них состава и генезиса ОВ представляется важным для понимания условий формирования вещественного состава подземных (термальных) вод.



**Рисунок 1. Расположение мест опробования гидротермального флюида изученных гидротермальных систем.**

1 – приповерхностная (обитаемая) область гидротермальных систем; 2 – глубокая (безжизненная) область гидротермальных систем; 3 – скважины с выходом: а) термальной воды, б) двухфазного вододоминирующего флюида; 4 – термальные источники; 5 – области опробования гидротермальных систем; 6 – ориентировочная граница приповерхностной и глубокой области гидротермальных систем.

**Степень научной проработанности.** Внимание мирового научного сообщества в области органической гидрогеохимии термальных вод сосредоточено, в основном, на подводных океанических гидротермальных системах, а также лабораторных экспериментах и компьютерному моделированию по синтезу ОВ в условиях, отвечающих гидротермальной системе в разрезе земной коры (Б.Н. Рыженко с соавторами (2015), Н.А. Шульга и В.И. Пересыпкин (2012), N.G. Holm and J.L. Charlou (2001), Т.М. McCollom (2013), В.Р.Т. Simoneit (1992) и другие). В России исследование органических соединений в термоминеральных водах проводилось и проводится многими учеными (работы М.Е. Альтовского (1962), Э.М. Галимова (2015), Г.М. Гановичевой (1969), В.А. Исидорова (1991), А.Э. Конторовича (2011), В.М. Матусевича (1976), А.М. Плюсина (2018), В.М. Швеца (1974), Г.М. Шпейзера (1999, 2010) и других). Однако остаются не до конца изученными индивидуальные органические компоненты в термальных водах, особенно соединения средней летучести. Для многих органических соединений еще не выработаны методики их определения, а также малоизученными остаются генетические аспекты и поведение ОВ в гидротермальных системах.

Исследованию гидротермальных систем континентальной части Дальнего Востока посвящены труды В.В. Кулакова (2011, 2014), О.В. Чудаева (2003, 2008) и многих других. При этом первые данные по ОВ появились только в 2007 году (В.Н. Компаниченко) для Кульдурских термальных вод. Исследованию гидротермальных систем Камчатки уделяли внимание С.Б. Бортникова (2007, 2009), Е.А. Вакин (1976), Г.А. Карпов (1988), А.В. Кирюхин (2010, 2018) и другие. Также проводились исследования, касающиеся отдельных групп и классов ОВ (работы Н.С. Бескровного (1977), Э.М. Галимова (2015), В.А. Исидорова (1991), В.Н. Компаниченко (2009), А.Э. Конторовича (2011) и других). Однако остаются малоизученными органические соединения средней летучести – наиболее разнообразная и многочисленная группа органических компонентов с молекулярными массами от 50 до 500 а.е.м., представляющая наибольший интерес для генетических построений.

**Цель исследования:** выявить состав и генезис органического вещества в различных гидрогеологических обстановках полуостровных и континентальных гидротермальных систем Дальнего Востока.

**Задачи исследования:**

1. Определить состав среднелетучего органического вещества в гидротермальных системах Дальнего Востока и в пространственно сопряженных с ними холодных подземных и поверхностных водах.
2. Провести сравнительный анализ набора органических соединений, установленных в различных гидрогеологических условиях гидротермальных систем (перегретая пароводяная смесь из глубоких скважин; высокотемпературный раствор из глубокой скважины; естественные выходы термальной воды в источниках; термальная вода из неглубоких скважин), а также в сопряженных с ними холодных подземных и поверхностных водах.

3. Изучить генезис предельных углеводородов, включая характеристику их молекулярно-массового распределения, в разнообразных гидрогеологических обстановках гидротермальных систем Дальнего Востока.

**Объект и предмет исследования.** Для проведения данного исследования были выбраны 5 гидротермальных систем, из которых 2 развиты в зоне перехода от континента к океану (Мутновская и Паратунская в Камчатском крае), и 3 в континентальной части юга Дальнего Востока (Кульдурская в Еврейской автономной области, Анненская и Тумнинская в Хабаровском крае). В вулканогенных гидротермальных системах Камчатки были опробованы как естественные выходы (кипящие водяные и грязевые котлы), так и глубокие скважины с выходом пароводяной смеси и высокотемпературного раствора. В этих объектах определялся состав ОВ средней летучести. Кроме этого, в целях сравнения в пределах термальных полей было дополнительно изучено ОВ в холодных подземных и поверхностных водах, а также в снежном покрове.

**Научная новизна.** Впервые для термальных и холодных вод районов геотермальных месторождений континентальной части ДВ (Кульдурское, Анненское и Тумнинское термальные поля) и Камчатки (Мутновское и Паратунское месторождения) получены данные по качественному составу и относительным содержаниям среднелетучего ОВ.

Впервые изучен состав и молекулярно-массовое распределение предельных УВ в этих объектах и проведено сравнение состава ОВ в термальных водах континентальных термопроявлений с полуостровными гидротермальными системами, а также сравнение состава ОВ в термальных водах с холодными водами и снежным покровом. Сделаны выводы о генезисе установленных органических соединений, которые в термальных водах могут иметь как биогенное, так и термогенное происхождение.

Впервые для термальных вод Кульдурского поля было установлено содержание общего углерода органического, а также выявлены вариации состава органических соединений средней летучести.

**Теоретическая значимость работы.** Результаты исследования могут быть использованы для выяснения механизмов образования органических соединений в природе под действием высоких температур и давления. Кроме этого, данные по ОВ в термальных водах необходимы для решения вопросов, связанных с развитием гидротермального сценария возникновения жизни на Земле. Полученные результаты способствуют более глубокому пониманию процессов, происходящих в системе «вода – порода – органическое вещество».

**Практическая значимость работы.** Полученные результаты по ОВ в термальных водах могут быть использованы санаторно-курортными службами для определения компонентов, благотворно влияющих на организм человека или наносящих вред, а также для выявления соединений – индикаторов техногенного загрязнения. Кроме этого, результаты исследования могут применяться для решения вопросов, связанных с происхождением нефти.

**Методы исследования и фактический материал.** Фактический материал получен автором в результате работ, проводимых в качестве аспиранта, а затем младшего научного сотрудника Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН под руководством научного руководителя к.г.-м.н. В.Н. Компаниченко. В процессе работы также привлекались материалы производственных отчетов В.В. Кулакова, С.И. Батюкова, В.Е Сидорова и других исследователей.

Основные методы исследования:

1. Полевые маршруты с целью обследования геотермальных месторождений Дальнего Востока (Камчатский и Хабаровский края, Еврейская автономная область), гидрогеохимического опробования термальных и холодных вод.
2. Определение основных физико-химических параметров вод в полевых условиях (рН, T°C);
3. Определение среднетлетучих органических соединений методом газовой хроматографии/масс-спектрометрии.
4. Определение концентраций общего углерода органического ТОС-анализатором.
5. Анализ и расшифровка хроматограмм органических соединений осуществлялась с использованием программного пакета GCMS Solution, AOC 5000 Option, NIST 11 MS Library and Amdis v.2.70 и ISQ EPA 625.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Распределение среднетлетучего органического вещества в дальневосточных гидротермальных системах чрезвычайно дифференцировано в зависимости от гидрогеологических условий и температуры флюида. Наименьшим разнообразием отличается максимально высокотемпературный флюид из глубоких скважин на Камчатке, наибольшим – термальная вода из неглубоких скважин на континенте.
2. В составе органического вещества дальневосточных гидротермальных систем преобладают углеводороды, карбоновые кислоты и их эфиры. Холодные подземные и поверхностные воды отчетливо отличаются от термальных преобладанием явно биогенных компонентов (терпены и стероиды).
3. Предельные углеводороды в полуостровных гидротермальных системах образованы в результате термогенных процессов. Происхождение алканов в континентальных термальных водах связано с химическим ре-синтезом преимущественно растительных органических остатков и бактериальной деятельностью.

**Достоверность результатов.** Работа выполнена на основе фактического материала, полученного автором в результате лабораторных и полевых исследований гидротермальных систем Дальнего Востока. Анализ органических соединений полученных экстрактов проводился на аналитических приборах фирмы «Shimadzu», имеющих сертификат об утверждении типа средств измерений Государственного комитета РФ по стандартизации и метрологии. Для проверки достоверности результатов использованы международные стандарты химических соединений (Fluka), а также современные библиотеки масс-спектров (NIST, EPA). Автор прошел стажировку по теме «Хроматомасс-спектрометрия» в лаборатории краевого центра экологического

мониторинга (КЦЭМП) (г. Хабаровск). Полученные результаты исследования были представлены в тезисах, докладах и подтверждены научными публикациями.

**Апробация работы.** Работа была выполнена в лаборатории экологии, генетики и эволюции ИКАРП ДВО РАН. Результаты исследований и основные положения диссертации докладывались на научных семинарах лаборатории и ученых советах ИКАРП ДВО РАН. Устные доклады сделаны на следующих конференциях: на 2 международной конференции «The International Astrobiology Society and Bioastronomy» (Нара, Япония, 2014); на конференции по астробиологии «9<sup>th</sup> European Workshop on Astrobiology, EANA» (Брюссель, Бельгия, 2009); на международной конференции «Современные проблемы регионального развития» (Биробиджан, 2010, 2012, 2014, 2016 и 2018 г.); на второй и третьей Всероссийской конференции с международным участием «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами» (Владивосток, 2015 и Чита, 2018); на Российской конференции с международным участием «Регионы нового освоения» (Хабаровск, 2017); на Всероссийской конференции с международным участием «VII Дружининские чтения» (Хабаровск, 2018); на XX совещании по подземным водам Сибири и Дальнего Востока (Иркутск, 2012); на XXIV Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2011); на 3-й региональной конференции «Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России» (Владивосток, 2010), и других.

**Личный вклад автора.** Материал диссертации основан на данных химических анализов, выполненных лично автором или при его непосредственном участии. Отбор проб воды для анализа ОВ осуществлен лично автором или в составе группы под руководством В.Н. Компаниченко. Автор проанализировал хроматограммы выделенных экстрактов образцов (52 образца и 1380 определений органических соединений). Обработка собственных и литературных данных, подготовка табличного и графического материала, интерпретация, сопоставления и выводы, представленные в работе, сделаны лично автором.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 46 научных работ, из них 17 журнальных статей, в том числе 2 статьи в зарубежных и 4 статьи в отечественных переводных журналах, входящих в базу данных WoS; 5 статей в журналах, входящих в Перечень изданий ВАК РФ, и 1 глава в коллективной монографии.

**Соответствие паспорту научной специальности.** Диссертация соответствует паспорту специальности 25.00.07 – Гидрогеология (геолого-минералогические науки) в пункте 1. «Условия образования месторождений различных типов подземных вод – пресных, минеральных (лечебных), промышленных (йодо-бромных и др.), термальных (теплоэнергетических)» и в пункте 3. «Условия и процессы формирования вещественного состава подземных вод (химического, газового, изотопного, бактериального)».

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы (326 источников, в том числе 65 англоязычных). Диссертация изложена на 160 страницах, иллюстрирована 35 рисунками и 30 таблицами.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю кандидату геолого-минералогических наук В.Н. Компаниченко за постановку задачи, ценные советы, критические замечания и поддержку на всех этапах работы. Автор благодарит сотрудников ИКАРП ДВО РАН: чл.-кор. РАН д-ра биол. наук Е.Я. Фрисмана, канд. биол. наук Е.А. Григорьеву за помощь и конструктивные замечания. Автор выражает благодарность всем сотрудникам лаборатории экологии, генетики и эволюции ИКАРП ДВО РАН за неоценимую помощь, обсуждение и поддержку на всех этапах работы. Автор искренне признателен сотрудникам лаборатории санатория «Кульдур» А.Л. Кравченко, Е.Г. Семушкиной и Е.В. Глушковой за предоставленные данные результатов гидрогеохимического мониторинга Кульдурских термальных вод и интерес к работе; благодарен сотрудникам ИВЭП ДВО РАН: д-ру геол.-минерал. наук В.В. Кулакову и канд. географ. наук С.И. Левшиной за интересные обсуждения результатов работы и помощь в проведении анализа. Автор благодарит В.Л. Рапопорта – ведущего инженера лаборатории КЦЭМП за обучение на газовом хроматомасс-спектрометре Shimadzu, ценные советы и критические замечания.

**Финансирование.** Диссертация выполнена при частичной поддержке грантов Дальневосточного отделения РАН № 11-III-B-08-212, № 12-I-0-06-033, № 15-I-6-049. Грантов Российского фонда фундаментальных исследований № 08-05-98504-р\_восток\_a, № 10-05-98003-р\_сибирь\_a, № 11-05-16010-моб\_з\_рос, № 12-05-98517-р\_восток\_a.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава 1. Органическое вещество в гидротермальных системах России**

Эта глава имеет обзорный характер. Здесь даются основные определения и понятия, используемые в диссертации. Приводится краткая информация о возможных источниках ОВ в подземных водах и о сообществах термофильных микроорганизмов в гидротермальных системах. ОВ может поступать в результате взаимодействия в системе «вода – порода» экстрагируя органические остатки из водовмещающих толщ. Кроме этого, они поступают в результате жизнедеятельности и деструкции термофильных микроорганизмов. Установлено, что бактерии синтезируют разнообразные органические соединения, в том числе и предельные УВ [Пошибаева, 2015; Hunt, 1979]. Некоторая часть ОВ может, вероятно, синтезироваться абиогенно, в результате действия высоких температур, давления и при участии водовмещающих пород, которые катализируют процессы хемосинтеза.

Кроме этого, описываются отечественные и зарубежные работы по ОВ как в подводных океанических гидротермальных системах, так и в наземных термоминеральных водах. Исследования ОВ в океанических гидротермальных системах направлены в основном на решение вопросов, связанных с возникновением жизни на Земле и с происхождением гидротермальной нефти [Дмитриев и др., 2000; Шульга, Пересыпкин, 2012; Fu et. al., 2007; Deamer, 2011; Holm, Andersson, 2005; Rushdi, Simoneit, 2001]. В пределах Дальнего Востока, ОВ изучалось в геотермальных месторождениях Камчатки, где были выявлены разнообразные высоколетучие органические соединения, аминокислоты, УВ нефтяных пленок [Исидоров и др., 1991;



Мухин и др., 1979; Мархинин, 1980; Бескровный, Лебедев, 1971; Галимов и др., 2015; Конторович и др., 2011; Simoneit et al., 2009]. Однако осталась слабоизученной наиболее многочисленная группа ОВ – соединения средней летучести. В пределах континентальной части юга Дальнего Востока ОВ в термальных водах практически не изучалось. Проведенные ранее исследования ОВ в дальневосточных гидротермальных системах не дают целостной картины поведения органических соединений в термальных водах различных гидрогеологических обстановок, что и побудило нас к выполнению этой работы.

## **Глава 2. Методика исследований**

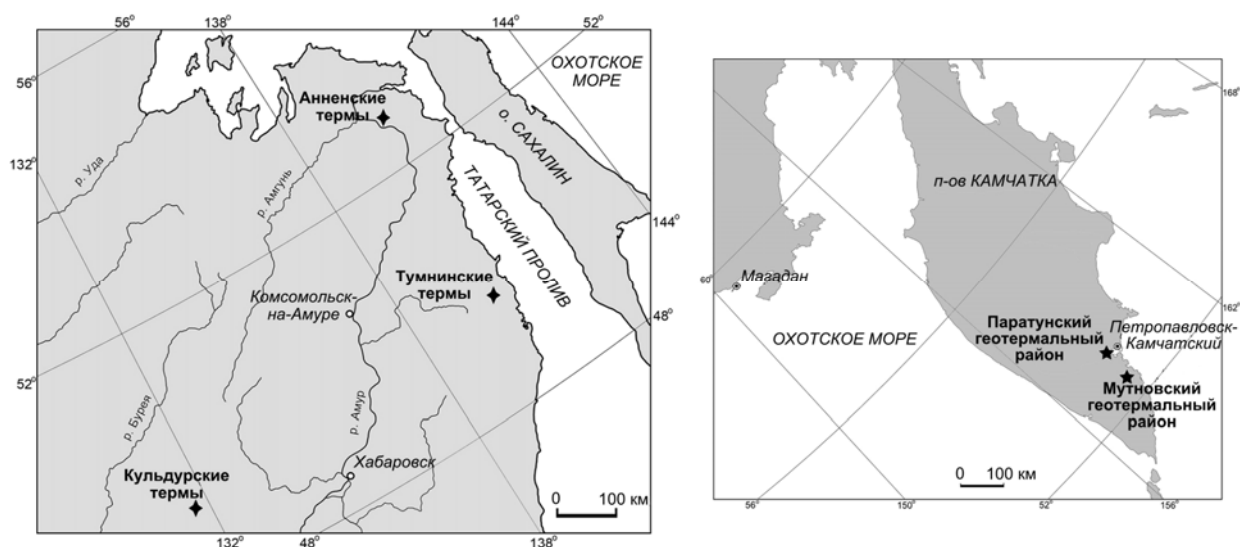
Пробы воды отбирались из скважин и горячих источников гидротермальных систем. Опробовались также холодные воды и снежный покров в пределах термальных полей. Пробоподготовка проводилась методом твердофазной экстракции в лаборатории КЦЭМП. Анализ органических соединений осуществляли методом капиллярной газовой хроматомасс-спектрометрии на хроматомасс-спектрометре Shimadzu GCMS-QP2010S (лаборатория КЦЭМП, аналитик В.Л. Рапопорт) и Shimadzu GCMS-QP2010 ultra (лаборатория ИКАРП ДВО РАН, аналитик В.А. Потурай). Общий углерод органический определялся на анализаторе модели TOC-Ve фирмы «Shimadzu» (Лаборатория ИВЭП ДВО РАН, аналитик С.И. Левшина).

## **Глава 3. Геолого-гидрогеологическая характеристика гидротермальных систем Дальнего Востока**

**Гидротермальные системы полуострова Камчатка.** *Мутновский геотермальный район* располагается в южной части Восточно-Камчатского вулканического пояса, в 70 км к юго-западу от г. Петропавловска-Камчатского (рис. 2). Вулканогенный бассейн стратовулкана Мутновского представляет собой гидрогеологическую структуру, сложенную среднеплейстоцен-голоценовыми вулканогенными водоносными горизонтами и комплексами, фундаментом которой служат водоносные комплексы вулканогенно-осадочных отложений палеоген-неогенового возраста [Кирюхин и др., 2010]. В пределах Мутновского геотермального района изучены три мощных термальных поля – Донное (непосредственно в кратере вулкана Мутновский), Дачное и Северо-Мутновское (в 3–4 км на север от кратера). Вода в Дачном поле слабоминерализованная, кислая, сульфатная, смешанного катионного состава. В Донном фумарольном поле вода солоноватая, кислая, хлоридно-сульфатная, магниево-кальциевая. Северо-Мутновское поле характеризуется выходами солоноватой, щелочной, хлоридно-сульфатно-натриевой воды с повышенным содержанием борной кислоты.

*Паратунский геотермальный район* располагается в 25 км западнее г. Петропавловск-Камчатский, севернее п. Паратунка (рис. 2). В работе рассмотрены источники Северного участка, вскрываемые скважиной № ГК–9. Месторождение приурочено к продуктивному трещинно-блоковому вулканогенному резервуару в грабене р. Паратунка, мощностью 1200 м [Кирюхин и др., 2017]. Водовмещающими толщами являются породы олигоцен-нижнемиоценового возраста (базальты, андезиты и

их туфы) [Чудаев и др., 2000]. Воды с температурой 82 °С солоноватые, слабощелочные, хлоридно-сульфатные кальциево-натриевые.



**Рисунок 2. Обзорная карта с местом расположения исследуемых термальных вод континентальной части юга Дальнего Востока (слева) и Камчатского полуострова (справа).**

Гидротермальные системы континентальной части юга Дальнего Востока представлены преимущественно азотными термами. Наиболее мощными термопроявлениями здесь являются Кульдурские (ЕАО), Анненские и Тумнинские (Хабаровский край) термальные воды (рис. 2). Это типичные напорные трещинно-жильные воды, поднимающиеся из глубин порядка 1–3 км. Их формирование происходит за счет инфильтрационных вод атмосферного происхождения, а нагревание обусловлено эффектом нормального геотермического градиента.

*Кульдурские термальные воды* располагаются в Северо-Западной части ЕАО. Вмещающими породами являются палеозойские граниты и гранодиориты. Источники выходят в центральной части Пионерского гранитного массива и приурочены к зоне Меридионального разлома на участке пересечения с оперяющим его нарушением северо-восточного направления [Кулаков, 2014]. Район месторождения относится к Туранскому гидрогеологическому массиву Селемджа-Буреинской группы гидрогеологических массивов, входящих в состав Амуро-Охотской гидрогеологической складчатой области. Здесь эксплуатируются две скважины (№ 1–87 и 2–87), представляющие центральную зону месторождения (температура 73 °С). Три скважины являются режимными – скважины № 3–87 и № 3 с температурой воды 55–60 °С (промежуточная зона) и скважина № 5 с температурой воды 25 °С (фланговая зона). Воды щелочные кремниевые хлоридно-фторидно-гидрокарбонатные натриевые, слабоминерализованные.

*Анненские термальные воды* выходят в Хабаровском крае, в 125 км от г. Николаевска-на-Амуре. Район сложен верхнемеловыми эффузивными и туфогенно-осадочными отложениями. Анненские термы приурочены к зоне разлома СВ простирания [Кулаков, 2014]. Они относятся к Сихотэ-Алинскому вулканическому поясу Сихотэ-Алинской гидрогеологической складчатой области. В настоящее время

эксплуатируются две скважины – № 2 и № 21. Воды имеют температуру на выходе 54 °С, слабоминерализованные, щелочные кремниевые гидрокарбонатные натриевые с повышенным содержанием фтора.

*Тумнинские термальные воды* располагаются в Хабаровском крае, примерно в 30 км от Татарского пролива. Они относятся к Сихотэ-Алинскому вулканическому поясу Сихотэ-Алинской гидрогеологической складчатой области и связаны с крупной зоной тектонического контакта гранитов и андезито-базальтов кузнецовской свиты эоцена. На месторождении эксплуатируются две скважины № 8 и № 9, с температурой воды 46 °С и 43 °С. Воды слабоминерализованные, щелочные, кремниевые, гидрокарбонатные натриевые.

#### **Глава 4. Органические соединения в полуостровных и континентальных гидротермальных системах Дальнего Востока**

В этой главе приводятся оригинальные данные по составу ОВ средней летучести в полуостровных и континентальных гидротермальных системах Дальнего Востока. Всего в термальных водах нами обнаружено 210 органических соединений, принадлежащих 22 гомологическим рядам. Доминирующими компонентами являются алканы, ароматические УВ, карбоновые кислоты и их эфиры. В холодных фоновых водах – 75 компонентов, 15 гомологических рядов. В снежном покрове – 28 компонентов, 7 гомологических рядов.

**Органические соединения в высокотемпературном флюиде из глубоких скважин гидротермальных систем полуострова Камчатка.** В пределах полуострова Камчатка были опробованы три глубоких скважины (глубиной более 1000 м). Две скважины Мутновского геотермального района – скважина № 4Е Дачного термального поля, глубиной 1600 м и температурой на выходе 175 °С и скважина № 3 Северо-Мутновского термального поля, глубиной 1800 м и температурой на выходе 95 °С. Одна скважина Паратунского геотермального района – скважина № ГК–9, глубиной 1080 м и температурой на выходе 82 °С. Здесь нами было установлено 56 органических соединений, относящихся к 12 гомологическим рядам (рис. 3). Принимая во внимание высокую температуру флюида и глубину, из которой он поступает, наличие жизни здесь представляется маловероятным (особенно в скважине № 4Е с температурой 175 °С).

*Конденсат пароводяной смеси.* Скважины № 4Е и 3 Мутновского района дают на выходе пароводяную смесь. Нами был опробован конденсат этой смеси. Интерес к изучению ОВ в конденсате заключается в том, что при очень высокой температуре (заметно превышающей 100 °С) они являются стерильными. Соответственно, обнаруженные в них органические соединения не могут являться прямыми продуктами деструкции микроорганизмов, что предполагает их генезис за счет хемосинтеза, включая ре-синтез первично биогенного материала, извлеченного из вмещающих пород.

В скважине № 4Е (175 °С) наибольшее распространение имеют предельные (алканы) и ароматические УВ. Также зафиксированы изоалканы, изопрены, серосодержащие и кислородсодержащие УВ. Обращает на себя внимание полное отсутствие карбоновых кислот и их эфиров, терпенов и стероидов – соединений явно

биогенного происхождения. Другая опробованная скважина № 3 в Северо-Мутновском поле является открытой и фонтанирует на высоту до 40–50 метров. На выходе температура 95 °С, рН 9. Здесь также значительно преобладают предельные и ароматические УВ. Присутствуют также спирты, карбоновая кислота и кетон.

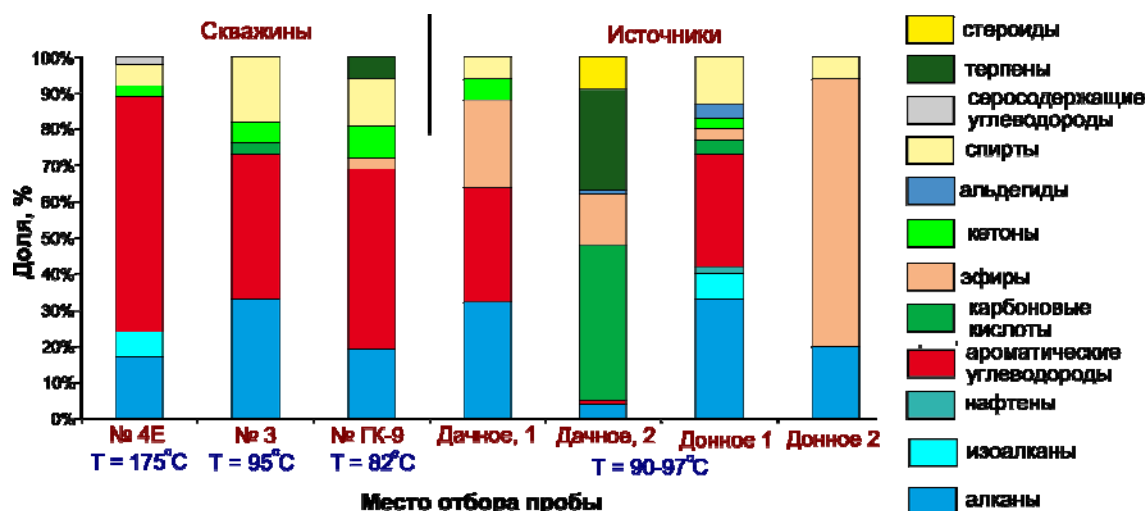


Рисунок 3. Гомологические ряды органических соединений в полуостровных гидротермальных системах. Ряды, занимающие в пробе менее 1%, не отображены.

*Высокотемпературный флюид.* Другая глубокая скважина вскрывает Паратунские источники Северного участка. Учитывая высокую температуру воды на изливе (82 °С), высокий термоградиент в пределах месторождения (50–70 °С на каждые 100 м) и глубину скважины (1080 м) наличие здесь термофильных микроорганизмов представляется маловероятным. Здесь, как и в конденсате пароводяной смеси, доминируют ароматические и предельные УВ. Кроме этого, установлены спирты, кетон, эфир и терпен.

**Органическое вещество в горячих источниках Камчатки.** Всего нами было опробовано 4 горячих источника – по 2 в Дачном и Донном термальных полях. Их температура превышает 90 °С, являясь близкой к точке кипения для соответствующего гипсометрического уровня. Температура воды позволяет здесь существовать сообществам гипертермофилов. Всего установлено 59 органических соединения, 13 гомологических рядов. Предельные и ароматические углеводороды преобладают в двух котлах из четырех. В других двух доминируют явно биогенные компоненты – карбоновые кислоты и их эфиры, терпены и стероиды. Эти соединения типичны для природных вод, широко продуцируются в биосфере и имеют, вероятно, биогенный генезис. Кроме этого здесь установлен изомер октагидрофенатрена, который образуется путем гидрирования смоляных кислот при высокой температуре. Вероятно, исходные биогенные соединения были в инфильтрационных водах, питающих гидротермальную систему, а высокую температуру обеспечил близповерхностный магматический очаг.

**Органическое вещество в термальной воде из неглубоких скважин.** В пределах континентальной части Дальнего Востока были опробованы неглубокие скважины с термальной водой (глубина от 100 до 500 м). Самая горячая вода здесь – Кульдурская – имеет температуру на выходе 72 °С, позволяющая развиваться термофильных

микроорганизмов. Всего здесь нами установлен 151 органический компонент, которые относятся к 19 гомологическим рядам (рис. 4).

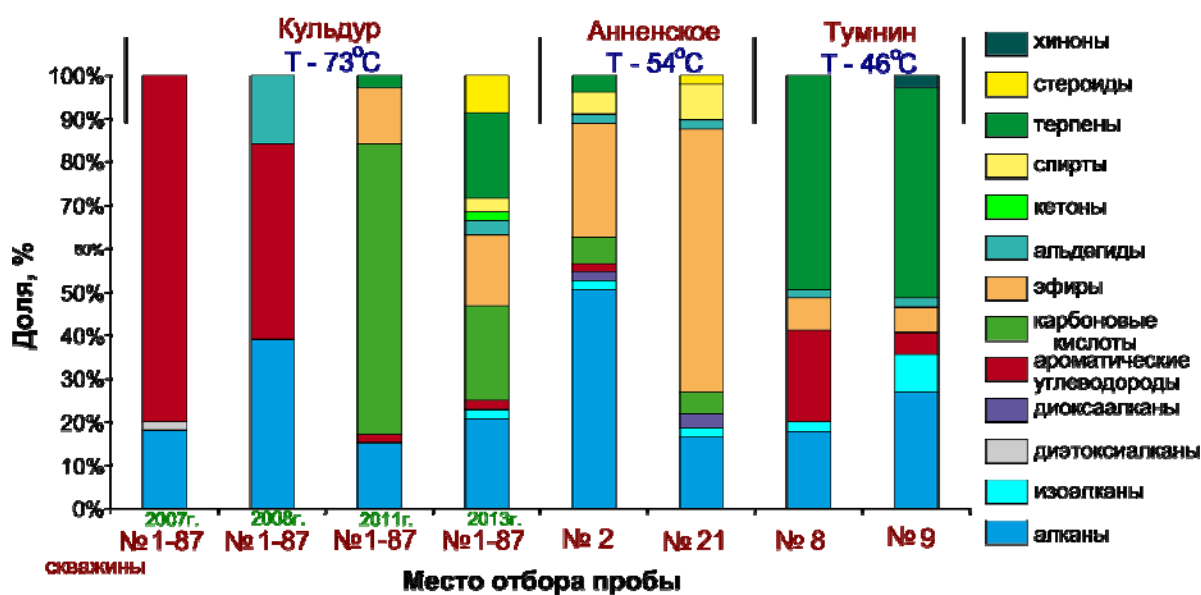


Рисунок 4. Гомологические ряды органических соединений в термальной воде континентальных гидротермальных систем. Ряды, занимающие в пробе менее 1%, не отображены.

В *Кульдурских* термальных водах установлено 118 органических соединений, принадлежащих 17 гомологическим рядам. Наиболее характерными компонентами, установленными в центральной зоне Кульдурского поля, являются алканы, ароматические УВ, карбоновые кислоты и их эфиры. При этом изменчивость состава ОВ во времени чрезвычайно велика. Наиболее разнообразный состав воды наблюдается в 2013 году за счет явно биогенных компонентов (терпены, стероиды, карбоновые кислоты и их эфиры). В *Анненских* термальных водах установлено 72 органических соединения, принадлежащие 13 гомологическим рядам. Доминирующими компонентами являются нормальные алканы и эфиры. Ароматические углеводороды найдены в минимальных относительных концентрациях. Кроме этого, обнаружены спирты, альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты, терпены и стероиды – соединения биогенного происхождения. *Тумнинские* термальные воды содержат 64 органических вещества, 14 гомологических рядов. Наиболее типичными гомологами являются алканы, терпены и ароматические УВ (изомеры октогидрофенантрена – производные смоляных кислот, образовавшиеся путем гидрирования при высокой температуре). Остальные гомологические ряды органических соединений представлены карбоновыми кислотами и их эфирами, альдегидами, спиртами, стероидами и кетонами.

**Органические соединения в холодных водах и снежном покрове в пределах термальных полей.** В ходе исследования также были отобраны пробы воды из поверхностных водотоков и скважин, вскрывающих холодные подземные воды в пределах термальных полей на континенте. Невысокие температуры воды, нейтральные значения рН, невысокая минерализация, доступность кислорода и света (для поверхностных водных объектов) делает возможным здесь жить и развиваться достаточно широкому комплексу видов микроорганизмов, растений и животных.

Поэтому основная часть органических компонентов является продуктом их жизнедеятельности либо деструкции. Принимая во внимание термобарические условия и отсутствие плотного контакта воды с глубинными водовмещающими породами, наличие здесь компонентов органической природы термогенного или абиогенного генезиса представляется маловероятным. С другой стороны, сопоставление состава ОВ в холодных водах и в гидротермальных системах, которые они питают, позволяет выявить соединения, являющиеся характерными только для термальных вод. Такие данные помогут выяснить различные генетические аспекты ОВ в термальных водах.

В поверхностных водотоках установлено 62 органических соединения, принадлежащих 11 гомологическим рядам. Наибольшего распространения имеют стероиды, альдегиды, карбоновые кислоты, эфиры и терпены. В холодных подземных водах установлено 64 органических соединения, 12 гомологических рядов. Доминирующими здесь являются терпены, карбоновые кислоты и их эфиры и альдегиды. Все эти компоненты широко продуцируются в биосфере и имеют, вероятно, биогенный генезис. В снежном покрове из кратера Мутновского вулкана и за его пределами, установлено 28 органических соединения, принадлежащих 7 гомологическим рядам. Наиболее типичны здесь алканы, ароматические УВ, спирты и эфиры.

#### **Глава 5. Генетические аспекты органического вещества в гидротермальных системах Дальнего Востока**

**Сравнительный анализ органического вещества в полуостровных и континентальных гидротермальных системах.** Наиболее характерными для всех типов изученных термальных вод являются простые УВ (предельные и ароматические). Причем эти компоненты достигают максимальных относительных содержаний в высокотемпературном флюиде из глубоких скважин Мутновского и Паратунского районов и колеблются в сумме от 70 до 80 %. Кроме них здесь характерны и спирты. В горячих источниках Камчатки, наряду с УВ, широко распространены биогенные карбоновые кислоты и их эфиры, а в континентальных термальных водах еще и биогенные альдегиды и терпены. Отличительной особенностью континентальных термальных вод от полуостровных является более широкое распространение в последних простых УВ и спиртов и наличие изопренов, изоалкенов и циклоалканов. Наиболее разнообразный состав ОВ наблюдается в термальных водах на континенте. В отличие от полуостровных гидротермальных систем, здесь найдены алкены, диэтоксикалканы, диоксаалканы, азотсодержащие и хлорароматические УВ и хиноны.

**Сравнительный анализ органического вещества в горячих и холодных водах в пределах термальных полей на континенте.**

*Сравнение органического вещества в водах района Кульдурского термального поля.* Сравнение состава ОВ холодных вод проводится с наиболее горячими водами центральной зоны Кульдурского месторождения. Типичными органическими соединениями в термальных водах являются алканы и ароматические УВ. Эти же компоненты гораздо менее распространены в холодных водах – в сумме от 9 до 15 %.

Кроме этого, в термальных водах в 2011 и 2013 годах начали доминировать биогенные компоненты – карбоновые кислоты. В р. Кульдур карбоновые кислоты и их эфиры занимают около 35 %, а максимальные относительные содержания имеют терпены и стероиды (от 28 до 83 %). Эти же компоненты в термальных водах не типичны и занимают здесь от 8 до 18 %. Различные изомеры предельных УВ найдены только в горячих водах. Наоборот, азот- и серосодержащие соединения и хиноны установлены только в холодных водах.

*Сравнение органического вещества в водах района Анненского термального поля.* Состав ОВ в холодных и горячих водах Анненского района обладает общими чертами. Наиболее распространенными компонентами являются алканы и эфиры. Однако в термальных водах алканы занимают до 50 %, а в холодных до 38 %, эфиры в холодных водах достигают 20–26 %, а в термальных эти соединения занимают от 26 до 60 %. То есть в термальных водах алканы и эфиры существенно доминируют над другими компонентами, чем в холодных водах. Кроме этого, стероиды в холодных водах достигают 25 %, а в термальных не превышают 2 %. Изоалканы, алкены и азотсодержащие соединения найдены только в горячих водах.

*Сравнение органического вещества в водах района Тумнинского термального поля.* Для термальных вод Тумнина характерны алканы, ароматические УВ и терпены. Вследствие невысокой температуры воды в термах (43–46 °С) здесь преобладают биогенные компоненты – терпены. Тем не менее, наблюдаются значительные различия с холодными водами. В них типичными соединениями, наряду с терпенами, являются и стероиды, занимающие более 30 %. Биогенные карбоновые кислоты и альдегиды более распространены именно в ручье. К соединениям, присутствующим только в термальных водах, следует отнести изоалканы, алкены, спирты, кетоны, серосодержащие УВ и хиноны.

**Сравнение органического вещества в термальных водах и снежном покрове в пределах Донного поля.** В качестве сравнения отбирались и пробы из снежника непосредственно в кратере Мутновского вулкана и в долине у подножия. Состав ОВ в термальных водах и снеге имеет сходные черты. Наиболее распространены алканы, ароматические УВ, спирты и эфиры. Причем в снегу из долины алканов и спиртов больше чем в снегу из кратера, а в нем больше эфиров, кетонов и альдегидов. Только в термальных водах обнаружены карбоновые кислоты, изо- и циклоалканы.

**Молекулярно-массовое распределение предельных углеводородов.** В качестве маркеров генезиса УВ используются различные критерии распределения алканов в объекте (табл. 1).  $\sum C_{10}-C_{14}$  без дискриминации по числу атомов углерода говорит о термогенном синтезе УВ.  $\sum C_{15}$ ,  $C_{17}$ ,  $C_{19}$  и  $\sum C_{16}, C_{20}-C_{24}$  – соединения, типичные для гидробионтов и бактерий. Индексы нечетности ОЕР и СРІ говорят о преобладающем источнике ОВ. Индексы ОЕР менее и более единицы показывают доминирующий биогенный источник ОВ, индекс СРІ более единицы свидетельствует о значительном вкладе высших растений в происхождении УВ. Индексы нечетности близкие к единице свидетельствуют о глубокой преобразованности ОВ (например, в результате процессов термодиссоциации).

Таблица 1

Молекулярно-массовое распределение n-алканов в изученных гидротермальных системах ДВ

Место отбора пробы	C <sub>max</sub>	∑ n-C <sub>10</sub> - C <sub>14</sub> , %	∑ n-C <sub>15</sub> , C <sub>17</sub> , C <sub>19</sub> %	∑ n-C <sub>16</sub> , C <sub>20</sub> -C <sub>24</sub> , %	н/в	нч/ч
Мутновская ГеоЭС, скв. 4Е	C <sub>11</sub> ; C <sub>22</sub>	84,9	6,3	6,4	40	1,4
Северо-Мутновские, скв. 3	C <sub>11</sub> ; C <sub>27</sub>	84,9	5,7	–	14,7	1,4
Паратунка, скв. ГК–9	C <sub>11</sub> ; C <sub>26</sub>	77,9	11,8	–	20	1,4
Дачные термы, котел 1	C <sub>11</sub>	94,9	2,3	–	100	1,5
Дачные термы, котел 2	C <sub>11</sub>	87,3	5,4	–	100	1,2
Донное поле, котел 1	C <sub>11</sub>	88,7	7,2	–	100	1,4
Донное поле, котел 2	C <sub>16</sub>	21,8	44,2	28,1	100	0,9
Кульдур, скв. № 1–87	C <sub>10</sub> ; C <sub>27</sub>	6,3	2,3	17,4	0,2	1
Анненское, скв. № 2	C <sub>11</sub> ; C <sub>28</sub>	7,2	0,9	11,4	0,1	1
Тумнин, скв. № 9	C <sub>16</sub> ; C <sub>26</sub>	12,1	12,1	29,9	0,8	1

*Примечание:* н/в – отношение низкомолекулярных алканов (до n-C<sub>22</sub>) к высокомолекулярным гомологам (от n-C<sub>23</sub>); нч/ч – отношение нечетных парафинов к четным во всей фракции. «–» – критерий не рассчитан из-за отсутствия гомологов в пробе.

Алканы присутствуют во всех изученных гидротермальных системах и достигают в них от 15 до 50 %. При этом установлены значительные различия в распределении алканов в гидротермах, имеющих разную температуру и условия формирования. В полуостровных гидротермальных системах (за исключением кипящего грязевого котла в Донном поле), характерно резкое преобладание низкомолекулярных алканов (табл. 3). Причем сумма гомологов C<sub>10</sub>–C<sub>14</sub> (нехарактерных для живых организмов) достигает 95 %. Основная часть УВ здесь – продукт термокаталитического преобразования органических остатков, которые поступили во флюид в результате процессов, происходящих в системе вода–порода. Рассматривать здесь алканы продуктом бактериальной или фитопланктонной деятельности нет основания, поскольку характерные гомологи или отсутствуют или имеют незначительное распространение.

В континентальных (Кульдурское и Анненское) термальных полях резко преобладают высокомолекулярные алканы, образованные, вероятно, в результате химического ре-синтеза остатков разложенного органического вещества растительного происхождения. На это указывает индексы CPI и OEP, значения которых близки к единице. Отдельным типом молекулярно-массового распределения УВ характеризуются термальные воды с невысокой температурой воды (Тумнинские), для которых просматриваются алканы, образованные в результате бактериальной деятельности (∑C<sub>16</sub>, C<sub>20</sub>–C<sub>24</sub> достигает 30 %, индекс OEP<sub>23</sub> – 1,7) при одинаковом содержании низко- и высокомолекулярных гомологов.

### Заключение

В диссертации на основе проведенных исследований даны ответы на актуальные научно-практические вопросы о составе органического вещества средней летучести и его происхождении в гидротермальных системах Дальнего Востока различных гидрогеологических обстановок.

По результатам работы получены следующие выводы:



1. Определен состав среднетемпературного органического вещества в полуостровных и континентальных гидротермальных системах и в холодных водах, распространенных в пределах термальных полей на континенте. Всего в термальных водах и высокотемпературном флюиде выявлено 210 органических соединений, принадлежащих 22 гомологическим рядам. В холодных подземных и поверхностных водах найдено 75 компонентов, которые формируют 15 гомологических рядов.
2. В высокотемпературном флюиде из глубоких скважин Мутновского и Паратунского районов, обнаружено 56 компонентов, относящихся к 12 рядам. Эти соединения включены в частный абиотический круговорот органического вещества, который формируется в результате процессов разложения и синтеза компонентов органической природы, происходящих без участия живых организмов. В термальных водах из неглубоких скважин на континенте зафиксировано 151 соединение, которые принадлежат 19 рядам. Эти компоненты, наряду с органическими соединениями в горячих источниках Камчатки (59 соединений / 13 рядов), составляют частный биотический круговорот органического вещества, утилизируясь термофильными и гипертермофильными микроорганизмами и поступая в воду, в основном, в результате процессов их жизнедеятельности и деструкции.
3. Сопоставлен набор органических соединений в гидротермальных системах разных гидрогеологических обстановок. Установлено, что характерной чертой всех изученных горячих вод и флюида является преобладание простых углеводов (предельных и ароматических), которые занимают в среднем около 50 %. В основном только эти компоненты присутствуют в высокотемпературном флюиде из глубоких скважин Мутновского и Паратунского районов и занимают в нем от 70 до 80 %.
4. В термальной воде из горячих источников на Камчатке и из неглубоких скважин гидротермальных систем на континенте, кроме простых углеводов, широко распространены биогенные карбоновые кислоты и их эфиры, которые занимают в среднем около 30 %, а в континентальных термальных водах еще и биогенные альдегиды и терпены (в среднем около 20 %). Отличительной особенностью континентальных термальных полей от гидротермальных систем зоны перехода от континента к океану является более широкое распространение в последних предельных и ароматических углеводов, спиртов и кетонов (занимающих в сумме от 90 до 97 %).
5. К органическим компонентам, найденным только в высокотемпературном флюиде из глубоких скважин Мутновского и Паратунского районов, относятся изопрены. Изоалкены и циклоалканы установлены только в горячих источниках на Камчатке. К соединениям, найденным только в континентальных гидротермальных системах, относятся алкены, диэтоксиалканы, диоксиалканы, азотсодержащие соединения и хиноны.
6. Сравнение органического вещества в горячих, холодных подземных и поверхностных водах показало их существенное различие. Наиболее характерными компонентами в холодных водах, в отличие от термальных, являются явно биогенные соединения – терпены, стероиды и эфиры, которые занимают в среднем

около 40 %. Отличительной особенностью термальных вод от холодных является преобладание предельных и ароматических углеводородов и наличие их изомеров, которые отсутствуют в холодных водах этих районов.

7. Установлены значительные различия в распределении предельных углеводородов в гидротермальных системах, имеющих разную температуру и условия формирования. В высокотемпературном флюиде из скважин и источников на Камчатке основная часть углеводородов образовалась в результате термогенных процессов под действием высокой температуры и давления (сумма гомологов  $C_{10-14}$  достигает 95 %). В термальных водах из неглубоких скважин континентальной части юга ДВ (Кульдурские и Анненские термы) алканы образовались в результате химического ре-синтеза остатков разложенного органического вещества растительного происхождения (индекс  $СРІ$  0,9–1, отношение низкомолекулярных к высокомолекулярным 0,1–0,2). Отдельным типом молекулярно-массового распределения углеводородов характеризуются термальные воды с невысокой температурой воды (Тумнинские), в которых просматриваются алканы, образованные в результате бактериальной деятельности (сумма гомологов  $C_{16}$ ,  $C_{20-24}$  достигает 30 %, индекс  $ОЕР_{23} - 1,7$ ).

В заключении отметим, что на базе изученных континентальных гидротермальных систем и Паратунских источников действуют различные санатории и бальнеолечебницы, а на базе Мутновского месторождения функционируют геотермальные электростанции, что делает важным контроль качества этих термальных вод и флюида. В результате проведенного исследования состава органического вещества в гидротермальных системах не выявлено значительного присутствия соединений – индикаторов техногенного загрязнения. Состав органического вещества в термальных водах разнообразен и преимущественно биогенного и (реже) термогенного происхождения. Полученные результаты исследования также могут быть использованы санаторно-курортными службами, в ведомости которых находятся изученные термальные воды, для выявления компонентов благотворно влияющих на человеческий организм или наносящих вред.

#### **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

##### **В рецензируемых журналах, входящих в базу данных WoS (Core collection):**

1. 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.
2. Kompanichenko V.N., Poturay V.A., Shlufman K.V. Hydrothermal systems of Kamchatka as the model for prebiotic environment // *Origins of Life and Evolution of Biospheres*. – 2015. – Vol. 45. – № 1–2. – P. 93–103.
3. Компаниченко В.Н., Потурай В.А., Карпов Г.А. Органические соединения в термальных водах Мутновского района и кальдеры Узон // *Вулканонология и сейсмология*. – 2016. – № 5. – С. 35–50.
4. Потурай В.А. Органическое вещество в подземных и поверхностных водах района Анненского геотермального месторождения (Дальний Восток) // *Геохимия*. – 2017. – № 4. – С. 372–380.

5. **Потурай В.А.** Органическое вещество в гидротермальных системах разных типов и обстановки // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 11. – С. 6–16.
6. **Потурай В.А.**, Компаниченко В.Н. Состав и распределение предельных углеводородов в термальных водах и пароводяной смеси Мутновского геотермального района и кальдеры Узон (Камчатка) // Геохимия. – 2019. – № 1. С. 79–88.

**В рецензируемых журналах, входящих в базу данных WoS (RSCI):**

7. Компаниченко В.Н., **Потурай В.А.** Вариации состава органического вещества в водах Кульдурского геотермального месторождения // Тихоокеанская геология. – 2015. – Т. 34. – № 4. – С. 96–107.
8. **Потурай В.А.** Состав и распределение n-алканов в азотных термах Дальнего Востока России // Тихоокеанская геология. – 2017. – Т. 36. – № 4. – С. 109–119.
9. Компаниченко В.Н., **Потурай В.А.** Гидрогеохимическая зональность и эволюция состава Кульдурских терм (Дальний Восток) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2015. – № 6. – С. 521–534.

**В рецензируемых журналах по списку ВАК, входящих в базу данных РИНЦ:**

10. **Потурай В.А.** Органическое вещество в подземных и поверхностных водах района Кульдурского месторождения термальных вод, Дальний Восток России // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2013. – № 1(21). – С. 169–182.
11. **Потурай В.А.** Органическое вещество в термальных и поверхностных водах района Тумнинского месторождения термальных вод, Дальний Восток России // Известия ТПУ. – 2014. – Т. 324. – № 3. – С. 44–52.

**В прочих рецензируемых журналах, входящих в базу данных РИНЦ:**

12. Компаниченко В.Н., **Потурай В.А.**, Рапопорт В.Л. Особенности химического состава вод Кульдурского термального поля // Региональные проблемы. – 2009. – №12. – С. 20–25.
13. **Потурай В.А.** Сравнение химического состава термальных, сточных и грунтовых вод Кульдурского района // Региональные проблемы. – 2010. – Т. 13. – № 2. – С. 92–96.
14. **Потурай В.А.** Органическое вещество в поверхностных водах районов геотермальных месторождений Дальнего Востока (экологический аспект) // Региональные проблемы. – 2015. – Т. 18. – № 2. – С. 57–62.
15. Компаниченко В.Н., **Потурай В.А.**, Шлюфман К.В. Исследования гидротермальных систем Дальнего Востока в контексте проблемы зарождения биосферы // История науки и техн ики. – 2015. – № 3. – С. 84–94.
16. **Потурай В.А.** Органическое вещество в холодных подземных водах районов азотных терм Приамурья // Региональные проблемы. – 2016. – Т. 19. – № 4. – С. 59–66.
17. **Потурай В.А.**, Строчинская С.С., Компаниченко В.Н. Комплексная биогеохимическая характеристика термальных вод Тумнинского месторождения // Региональные проблемы. – 2018. – Т. 21. – № 1. – С. 22–30.

Потурай Валерий Алексеевич

**Органическое вещество в полуостровных и континентальных гидротермальных  
системах Дальнего Востока**

Автореферат