

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 550.46(282.257.21)

КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В ТЕРМАЛЬНЫХ ВОДАХ МУТНОВСКОГО И ПАРАТУНСКОГО ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РАЙОНОВ И КАЛЬДЕРЫ УЗОН, КАМЧАТКА

В.А. Потурай

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,
ул. Шолом-Алейхема 4, г. Биробиджан, 679000,
e-mail: poturay85@yandex.ru

Исследованы состав и молекулярно-массовое распределение кислородсодержащих органических соединений средней летучести в стерильной пароводяной смеси из скважин и высокотемпературных источников Мутновской, Паратунской и Узонской гидротермальных систем. Методом газовой хроматомасс-спектрометрии установлено 41 кислородсодержащее соединение, которое относится к 7 гомологическим рядам. Их относительное содержание в составе органического вещества средней летучести около 25%. Широкого распространения достигают спирты, эфиры, карбоновые кислоты, альдегиды и кетоны биогенного происхождения. Особенности молекулярно-массового распределения карбоновых кислот и спиртов (преобладание гомологов с четным числом атомов углерода в молекуле) также указывают на биогенный генезис. Соединения – индикаторы техногенного загрязнения найдены были только в кипящем водяном котле Дачного термального поля Мутновского района.

Ключевые слова: гидротермальная система, термальная вода, органическое вещество, генезис, карбоновые кислоты.

Актуальность

Полуостров Камчатка является активным вулканическим регионом, который обладает мощными термоминеральными ресурсами. Формирование высокотемпературных гидротермальных систем здесь происходит в условиях резкого термодифференциального режима благодаря близкому положению магматического очага к поверхности. Одни из наиболее высокотемпературных гидротермальных систем в пределах полуострова Камчатка – Мутновская, Паратунская и Узон-гейзерная. Близповерхностные области этих гидротермальных систем вследствие относительно невысокой температуры (<100–110 °С) населены сообществами термофильных микроорганизмов [2, 4]. Их более глубокие области, очевидно, являются безжизненными в результате действия высоких температур (выше 110–120 °С) и давления [13].

В гидротермальных системах полуострова Камчатка проводились исследования высоколетучих органических соединений, аминокислот, углеводородных нефтепроявлений [3, 5, 11, 12]. Нами осуществлялись исследования органиче-

ского вещества средней летучести в термальных водах Камчатки [10, 14, 16–18]. Однако состав и молекулярно-массовое распределение кислородсодержащих соединений и их сравнение в лишенной жизни пароводяной смеси и в высокотемпературных источниках, населенных сообществами термофильных микроорганизмов Мутновской, Паратунской и Узонской гидротермальных систем, подробно не рассматривались. Вместе с тем это многочисленная группа, объединяющая несколько классов органических соединений, которые являются биохимически важными и участвуют во многих процессах, происходящих в системе «вода – порода – газ – органическое вещество».

Объекты и методы

Мутновский геотермальный район. Мутновский геотермальный район располагается в 70 км к юго-западу от г. Петропавловска-Камчатского (рис.). Термальные поля района пространственно и структурно связаны с Северо-Мутновской вулканотектонической зоной субмеридионального простиранья, представляющей собой узкую (3–10 км) депрессию, раздробленную

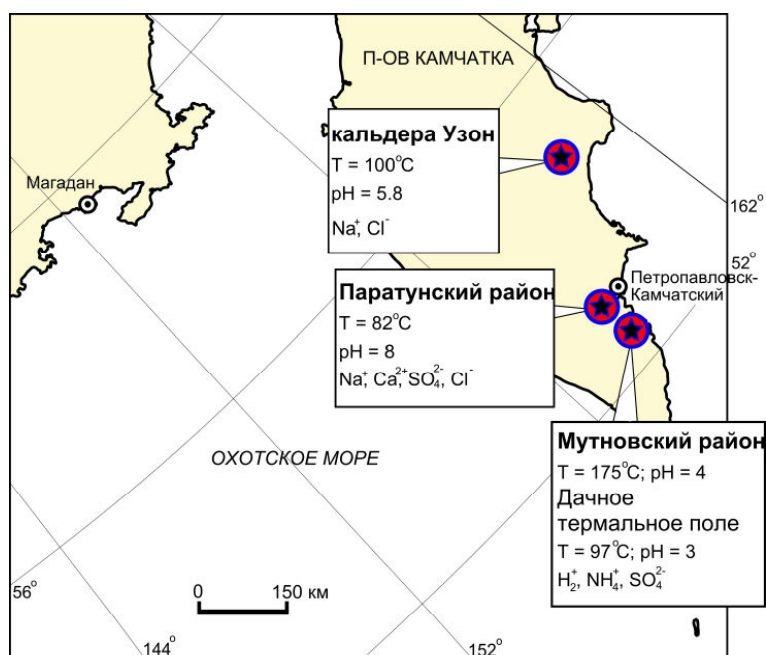


Рис. Обзорная карта с местом расположения исследуемых гидротермальных систем п-ова Камчатка и указанием их температуры, pH и основных ионов

Fig. Overview map of the studied hydrothermal systems location in the Kamchatka Peninsula with indication of their temperature, pH and basic ions

густой сетью тектонических нарушений [10]. Район приурочен к верхнемиоцен-плиоценовому-четвертичному Восточному вулканическому поясу Камчатской гидрогеологической складчатой области. 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 [9]. В пределах Мутновского геотермального района находятся три мощных термальных поля – Донное фумарольное, Дачное и Северо-Мутновское.

Паратунский геотермальный район. Паратунский геотермальный район располагается в 25 км западнее г. Петропавловска-Камчатского, севернее п. Паратунка (рис.). Он приурочен к продуктивному трещинно-блоковому вулканогенному резервуару в грабене р. Паратунки мощностью 1200 м. Фундамент включает 4 основные зоны поступления глубинного теплоносителя на Нижнем, Среднем, Северном и Микижинском участках. Вероятная область питания месторождения – постройка Вилучинского вулкана, покрытая многолетними снежниками и ледниками. Водоупорными толщами являются породы олигоцен-нижнемиоценового возраста [8, 9].

Кальдера Узон. Кальдера Узон занимает западную часть крупной Узон-Гейзерной вулкано-тектонической структуры – депрессии, представляющей собой сильно раздробленный блок сложного долгоживущего вулканического

массива, обрушенного по кольцевому разлому. В фундаменте этой структуры залегает толща вулканогенно-осадочных пород плиоцена. Кислые экструзивные купола фактически разделили депрессию на две части – восточную впадину, в которой проявилась гидротермальная система Долины гейзеров, и западную, собственно кальдеру Узон [6, 7, 10].

Исследование термальных вод и пароводяной смеси полуострова Камчатка проводилось в летний период 2005, 2007 и 2009 гг. Для отбора проб термальной воды на органическое вещество использовалась посуда из темного стекла с притертой крышкой емкостью 0,5 дм³, предварительно промытая хромовой смесью и дистиллированной водой. При анализе пароводяной смеси, поступающей из глубоких скважин, отбирался конденсат этой смеси. Всего отобрано 10 проб в пределах Мутновского геотермального района, 3 пробы в кальдере вулкана Узон и 1 проба в Паратунском районе. Концентрат органических соединений получали методом твердофазной экстракции. Качественный анализ органических соединений проводили на газовом хромато-масс-спектрометре Shimadzu GCMS-QP2010S. Были получены хроматограммы общего ионного тока (ОИТ). Для каждого соединения было рассчитано относительное содержание в процентах. Пристальное внимание уделялось составу кислородсодержащих соединений, сумма которых приведена к 100%. Твердофазная экстракция и хромато-масс-спектрометрический анализ проводились в лаборатории Хабаровского краевого центра экологического

мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций – КЦЭМП (аналитик – В.Л. Рапопорт).

Результаты исследования и их обсуждение

Кислородсодержащие органические соединения присутствуют практически во всех исследуемых термальных водах и пароводяной смеси, причем их доля в составе органического вещества средней летучести составляет значительную часть, до 80% (в среднем около 25%). Всего установлено 41 кислородсодержащее соединение (табл. 1).

Ранее в исследуемых термальных водах п-ова Камчатка нами было установлено 126 органических соединений средней летучести, которые относятся к 17 гомологическим рядам [10, 13, 18]. Данные анализов 2005, 2007 годов получены В.Н. Компаниченко [16, 17]. Наибольшего распространения в них достигают предельные и ароматические углеводороды, до 85%. При этом в стерильной пароводяной смеси скважины 4Е (температура 175 °С) установлены почти исключительно про-

Таблица 1
Кислородсодержащие органические соединения в исследуемых гидротермальных системах
Table 1
Oxygen-containing organic compounds in the studied hydrothermal systems

| № п/п | Наименование компонента | Место отбора* | № п/п | Наименование компонента | Место отбора* |
|---------------------------|--|----------------|---------------------------|--|----------------|
| Карбоновые кислоты | | м, у | 23 | этилкаприлат | у |
| 1 | гексадекановая кислота | м у | 24 | этилдеcanoат | у |
| 2 | декановая кислота | м, у | 25 | 3-гидрокси-2,4,4-триметил-пентил изобутират | у |
| 3 | додекановая кислота | м, у | Альдегиды и кетоны | | м, у, п |
| 4 | 9-тетрадеценная кислота | м | 26 | циклопентанон | м, у, п |
| 5 | тетрадекановая кислота | м, у | 27 | нонаналь | м, у |
| 6 | 9-пентадеценная кислота | м | 28 | геранилацетон | м, у |
| 7 | пентадекановая кислота | м | 29 | 7,9-ди-третбутил-1-оксапи-ро(4,5)дека-6,9-диен-2,8-ди-он | м |
| 8 | 9-гексадеценная кислота | м, у | 30 | гексаналь | м, у |
| 9 | ненасыщенная кислота | м | 31 | октаналь | у |
| 10 | насыщенная кислота | м | 32 | деканаль | у |
| 11 | цис-9-октадеценная кислота | м | Спирты | | м, у, п |
| 12 | октадекановая кислота | м | 33 | 2-этилгексанол | м, у, п |
| 13 | октановая кислота | у | 34 | гексадеканол | м |
| 14 | нонановая кислота | у | 35 | фарнезол | м |
| Эфиры | | м, у, п | 36 | циклопентандиол | м, у, п |
| 15 | Изопропил тетрадеcanoат | м, у | 37 | ментол | у |
| 16 | 2,2,4-триметил-1,3-пентанди-ол диизобутират | м, у | Стероиды | | м |
| 17 | метильный эфир 3-оксо-2-пентил-циклопентануксусной кислоты | м, | | | |
| 18 | винилпальмитат | м, | | | |
| 19 | эфиры глицерола | м | 38 | Стероид | м |
| 20 | эфир 9-гексадеценной кислоты | м, | 39 | Стероид | м |
| 21 | бутилацетат | у, п | 40 | стероид | м |
| | | | Лактамы | | м |
| 22 | этилгексааноат | у | 41 | 2-Пирролидон | м |

Примечание: * гидротермальные системы: м – Мутновская; п – Паратунская; у – Узонская

стые углеводороды, на долю остальных компонентов приходится 10%. Это служит косвенным доказательством того, что органическое вещество здесь образовалось в результате термогенного синтеза, так как при такой температуре невозможно существование жизни. Кроме этого, особенности молекулярно-массового распределения алканов в термальных водах Мутновского и Паратунского районов (резкое преобладание гомологов состава C_{10} – C_{14} при отсутствии дискриминации по четности/нечетности атомов углерода в молекуле) и отсутствие явно биогенных компонентов, таких как терпены, стероиды и карбоновые кислоты, также указывает на термогенный синтез [14, 19].

К кислородсодержащим органическим соединениям относятся спирты, альдегиды и кетоны, карбоновые кислоты и эфиры. Также сюда могут быть отнесены некоторые амиды и стероиды. Это обширная группа органических соединений широко распространена в биосфере, присутствует в природных водах и имеет, вероятно, биогенное происхождение. Самые «многочисленные» гомологические ряды в исследуемых водах – это карбоновые кислоты (14 соединений), эфиры (11 соединений) и спирты (5). На остальные гомологические ряды приходится 11 соединений (альдегиды, кетоны, стероиды и 1 лактам).

Характерным классом кислородсодержащих соединений в термальных водах Камчатки являются спирты, достигающие в среднем 20%. Спирты – производные углеводородов, в молекулах которых один или несколько атомов водорода замещены на соответствующее число гидроксильных групп ($-OH$) [1]. Они представляют собой обширный и разнообразный класс соединений, которые весьма распространены в природе, живых организмах. В исследуемых водах установлены спирты с числом атомов углерода в молекуле C_5 , C_8 , C_{10} , C_{15} , C_{16} . Наблюдается резкое преобладание четных гомологов (отношение нечетных к четным 0,2), что указывает, вероятно, на их биогенное происхождение в термальных водах исследуемых районов.

Кроме спиртов широко распространены эфиры, в среднем около 18%. Эфиры можно рассматривать как производные карбоновых кислот, в которых атом водорода карбоксильной группы замещен на углеводородный радикал, или как продукт замещения гидроксильного водорода в спиртах на кислотный радикал органической кислоты (ацил). Смесь эфиров глицерина и карбоновых кислот образует природные жиры и воски, которые играют исключительно важную биологическую роль в жизни животного и растительного

миров. В исследуемых нами водах установлено 11 эфиров.

К кислородсодержащим компонентам, установленным в термальных водах, относятся также альдегиды и кетоны, занимающие в среднем 12%, и карбоновые кислоты (в среднем 10%). Альдегиды и кетоны – производные углеводородов, в молекулах которых содержится 1 или более карбонильных групп $=C=O$. В исследуемых водах установлено 4 альдегида состава C_6 , C_8 , C_9 , C_{10} и три кетона.

Карбоновые кислоты – производные углеводородов, которые содержат в молекуле одну или несколько карбоксильных групп – $COOH$. Они синтезируются живыми организмами, причем при биогенном происхождении преобладают четные карбоновые кислоты, то есть содержащие четное число атомов углерода в молекуле. Наиболее широко распространены в природе миристиновая (тетрадекановая) и пальмитиновая (гексадекановая) кислоты [15, 20]. Молекулярно-массовое распределение карбоновых кислот указывает на явно биогенное происхождение в исследуемых водах (отношение нечетных кислот к четным в среднем 0,3). Всего установлено 14 карбоновых кислот.

К остальным гомологическим рядам кислородсодержащих соединений, установленных в термальных водах, относятся стероиды, явно биогенные компоненты, продукт животного происхождения, найденные только в одном месте – кипящий водяной котел Дачного термального поля, и лактамы или амиды, представленные только одним компонентом – 2-пирролидоном – соединением, содержащим наряду с углеродом, водородом и кислородом еще и азот.

Мутновский геотермальный район. В пределах Мутновского геотермального района были опробованы две глубокие скважины – скважина № 4Е Дачного термального поля, с температурой 175 °С, рН 4 и глубиной 1600 м, и скважина № 3 Северо-Мутновского термального поля с температурой 97 °С, рН 9 и глубиной 1800 м. Они дают на выходе пароводяную смесь. Интерес к изучению органического вещества в конденсатах пароводяной смеси 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 [10, 13].

Кроме двух глубоких скважин были опробованы кипящие водяные и грязевые котлы – два в Дачном и три в Донном термальных полях. Во всех источниках наблюдается заметный выход газовых пузырьков. Их температура превышает 90 °С, являясь близкой к точке кипения для соответствующего гипсометрического уровня. Учитывая сравнительно невысокую температуру и микробиологические исследования, которые проводились в гидротермах Камчатки [2, 4], можно предполагать в них наличие различных групп гипертермофильных микроорганизмов.

Кислородсодержащие соединения в термах Мутновского района достигают 80%, в среднем 25% (табл. 2 и 3). Всего установлено 33 соединения. Наиболее распространенные ряды здесь это спирты и эфиры. При этом характерные соединения – 2-этилгексанол (в среднем 16%) и 2,2,4-триметил-1,3-пентандиол диизобутират (в среднем 15%). Кроме них широко распространены гексадекановая кислота, циклопентанон и 2-пирролидон. Следует отметить, что в пределах Донного фумарольного поля широкого распространения достигают эфиры и лактамы, в то время как в Дачном термальном поле это карбоновые кислоты, эфиры и спирты, а в Северо-Мутновском – спирты и лактамы. Как указывалось выше, предельные и ароматические углеводороды в составе органического вещества достигают здесь максимальных концентраций и их генезис предполагается за счет термогенного синтеза [14]. Кислородсодержащие соединения по их молекулярно-массовому распределению (преобладание четных гомологов), вероятно, имеют в этих водах биогенное происхождение. За исключением 7,9-ди-третбутил-1-оксапиро(4,5)дека-6,9-диен-2,8-дион. Третбутильная группа редко встречается в природе и его наличие в кипящем водяном котле Дачного поля может быть связано с техногенным загрязнением. Кроме этого, обращает на себя внимание состав кислородсодержащих соединений в кипящем водяном котле 2. Как видно из табл. 2, в 2005 г. эти компоненты не были установлены, в то время как в 2009 они достигают большого разнообразия. Причины такого изменения на данном этапе исследования установить не представляется возможным, однако, принимая во внимание, что такие изменения достигаются появлением биогенных соединений, можно предположить, что это связано с деятельностью гипертермофильных микроорганизмов, которые населяют термальные источники. Необходимы дальнейшие исследования кислородсодержащих соединений в пределах Мутновского геотермального района.

Таблица 2

Кислородсодержащие органические соединения Донного поля (Мутновский район) и их содержание, %
Table 2
Oxygen-containing organic compounds of the Donny Field (Mutnovsky District) and their content, %

| Наименование компонента | Место отбора* | | | | |
|-------------------------|---------------|---|-------------|------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Карбоновые кислоты | – | – | 14,3 | – | – |
| Эфиры | – | – | 11,6 | – | 91,9 |
| Альдегиды и кетоны | – | – | 28 | – | – |
| Спирты | – | – | 46,1 | – | 8,1 |
| Лактамы | 100 | – | – | 100 | – |
| Итого | 100 (1) | – | 100 (28) | 100 (7) | 100 (80) |

Примечание: * 1 – кипящий водяной котел 1, 2005 г. [16, 17]; 2 – кипящий водяной котел 2, 2005 г. [16, 17]; 3 – кипящий водяной котел 2, 2009 г.; 4 – кипящий грязевой котел, 2005 г. [16, 17]; 5 – кипящий грязевой котел, 2009 г. «–» – компонент не установлен; в скобках приводится доля кислородсодержащих соединений в составе органического вещества

Таблица 3

Кислородсодержащие органические соединения в Дачном и Северо-Мутновском термальных полях (Мутновский район) и их содержание, %
Table 3
Oxygen-containing organic compounds in the Dachny and Sever-Mutnovsky thermal fields (Mutnovsky area), and their content, %

| Наименование компонента | Дачное | | | Северо-Мутновское | |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|
| | № 4Е | котел 1 | котел 2 | №3, 2005 | №3, 2009 |
| Карбоновые кислоты | – | – | 65 | – | 14,8 |
| Эфиры | – | 59,5 | 21,1 | – | – |
| Альдегиды и кетоны | 31,1 | 20,4 | 0,9 | – | 22,1 |
| Спирты | 68,9 | 20,1 | – | – | 63,1 |
| Стероиды | – | – | 13 | – | – |
| Лактамы | – | – | – | 100 | – |
| Итого | 100 (10) | 100 (26) | 100 (67) | 100 (4) | 100 (27) |

Примечание. «–» – компонент не установлен; в скобках – доля соединения в составе органического вещества

Паратунский геотермальный район. В пределах Паратунского геотермального района была опробована скважина № ГК-9 с температурой воды 82 °С, рН 8 и глубиной 1080 м. Она вскрывает термы Северного участка Паратунской гидротермальной системы. Проведенные ранее исследования органического вещества указывают на схожий состав и механизм образования органического вещества Паратунской и Мутновской систем. Здесь преобладают предельные и ароматические углеводороды, при этом алканы образованы в результате термогенного синтеза [14, 19].

В составе органического вещества на долю кислородсодержащих соединений приходится всего 26%, 4 соединения (табл. 4). Среди них значительно преобладают спирты (51%) и кетон (циклопентанон, 38%). Остальные ряды представлены эфиром (бутилацетат). Их происхождение, вероятно, также связано с биогенным синтезом. Карбоновые кислоты, альдегиды и лактамы вообще не были обнаружены.

Кальдера Узон. Здесь были опробованы кипящий котел «Бурлящий», скважина К-4 глубиной 16 м, рН 6–7 и температурой, не превышающей 100 °С. Состав вод хлоридно-натриевый или хлоридно-сульфатно-натриевый [10]. Кроме них был опробован гейзер «Шаман» с температурой ≈ 100 °С, рН 5,8, минерализация 3,7 г/л. Состав воды хлоридно-натриевый [6]. Ранее здесь было установлено 71 органическое соединение, 12 го-

мологических рядов. В составе также преобладают алканы и ароматические углеводороды, но, в отличие от Мутновского и Паратунского районов, они образованы в результате химического ре-синтеза растительных органических остатков и бактериальной деятельностью [14]. Установлено 21 кислородсодержащее соединение, на долю которых приходится 68% (табл. 4). Примечательно, что эти соединения найдены только в гейзере, а в источнике «Бурлящий» и скважине К-4 органические компоненты с атомом кислорода в составе отсутствуют. Максимальных относительных концентраций достигают эфиры (45%) и карбоновые кислоты (28%). Среди них максимумы приходятся на нонановую и декановую кислоты и этиловые эфиры октановой и декановой кислот. На долю альдегидов, кетонов и спиртов приходится 27%. Все эти компоненты, по-видимому, также имеют биогенное происхождение.

Заключение

Органические соединения средней летучести, содержащие в своем составе атом кислорода, установлены практически во всех исследуемых термальных водах и пароводяной смеси Мутновского и Паратунского геотермальных районов и кальдеры Узон. Всего установлено 41 кислородсодержащее соединение, которое относится к 7 гомологическим рядам. Их относительное содержание в составе органического вещества средней летучести около 25%. Широкого распространения достигают спирты, эфиры, карбоновые кислоты, альдегиды и кетоны. Эти соединения широко продуцируются в биосфере и имеют, вероятно, биогенное происхождение. На это указывают и особенности молекулярно-массового распределения карбоновых кислот и спиртов (преобладание гомологов с четным числом атомов углерода в молекуле). Соединения – индикаторы техногенного загрязнения найдены были только в кипящем водяном котле Дачного термального поля Мутновского района (кетон, содержащий третбутильную группу). Однако его доля в составе органического вещества средней летучести достигает всего 1%.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Артеменко А.И. Органическая химия: учебник для строительной специальности вузов. 5-е изд., испр. М.: Высш. шк., 2002. 559 с.
2. Бонч-Осмоловская Е.А. Изучение термофильных микроорганизмов в институте микробиологии РАН // Микробиология. 2004. Т. 73, № 5. С. 644–658.
3. Галимов Э.М., Севастьянов В.С., Карпов Г.А. и др. Углеводороды из вулканического рай-

Таблица 4

Кислородсодержащие органические соединения в кальдере Узон и Паратунском районе и их содержание, %

Table 4

Oxygen-containing organic compounds in the Uzon caldera and Paratunsky area, and their content, %

| Наименование компонента | кальдера Узон | | | № ГК-9 |
|-------------------------|---------------|----------|----------|----------|
| | № К-4 | Бурлящий | гейзер | |
| Карбоновые кислоты | – | – | 27,7 | – |
| Эфиры | – | – | 45,4 | 11,3 |
| Альдегиды и кетоны | – | – | 18,8 | 37,5 |
| Спирты | – | – | 8,1 | 51,2 |
| Итого, % | – | – | 100 (68) | 100 (26) |

Примечание. «—» – компонент не установлен; в скобках – доля соединения в составе органического вещества

- она. Нефтепроявления в кальдере вулкана Узон на Камчатке // Геохимия. 2015. № 12. С. 1059–1068.
4. Заварзин Г.А., Карпов Г.А., Горленко В.М., и др. Кальдерные микроорганизмы. М.: Наука, 1989. 120 с.
 5. Исидоров В.А., Зенкевич И.Г., Карпов Г.А. Летучие органические соединения в парогазовых выходах некоторых вулканов и гидротермальных систем Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1991. № 3. С. 19–25.
 6. Карпов Г.А., Николаева А.Г., Акимов В.Н., Гальченко В.Ф. Эволюция режима и физико-химических характеристик растворов новообразованного гейзера в кальдере Узон (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2012. № 3. С. 3–13.
 7. Карпов Г.А., Павлов А.Л. Узон-Гейзерная гидротермальная рудообразующая система Камчатки. Труды института геологии и геофизики. Вып. 317. Новосибирск: Наука, 1976. 88 с.
 8. Кирюхин А.В., Асаулова Н.П., Ворожейкина Л.А., и др. Условия формирования и моделирование эксплуатации Паратунского геотермального месторождения (Камчатка) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2017. № 3. С. 16–30.
 9. Кирюхин А.В., Кирюхин В.А., Манухин Ю.Ф. Гидрогеология вулканогенов. СПб.: Наука, 2010. 395 с.
 10. Компаниченко В.Н., Потурай В.А., Карпов Г.А. Органические соединения в термальных водах Мутновского района и кальдеры Узон // Вулканология и сейсмология. 2016. № 5. С. 35–50.
 11. Конторович А.Э., Бортникова С.Б., Карпов Г.А., и др. Кальдера вулкана Узон (Камчатка) – уникальная природная лаборатория современного нефтидогенеза // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 8. С. 986–990.
 12. Мухин Л.М., Бондарев В.Б., Вакин Е.А. и др. Аминокислоты в гидротермах Южной Камчатки // ДАН СССР. 1979. Т. 244, № 4. С. 974–977.
 13. Потурай В.А. Органическое вещество в гидротермальных системах разных типов и обстановки // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329, № 11. С. 6–16.
 14. 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. Т. 64, № 1. С. 79–88.
 15. Hunt J.M. Petroleum geochemistry and geology. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1979. 617 p.
 16. Kompanichenko V.N. Exploring the Kamchatka geothermal region in the context of life's beginning // Life. 2019. Vol. 9. P. 41.
 17. Kompanichenko V.N. Thermodynamic inversion origin of living systems. Springer International Publishing AG, 2017. 275 p.
 18. 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. N 1–2. P. 93–103.
 19. Poturay V.A. Alkanes in a number of hydrothermal systems of the Russian Far East // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 98. 02008.
 20. Shorland F.B. Occurrence of fatty acids with uneven-numbered carbon atoms in natural fats // Nature. 1954. N 174. P. 603.

OXYGEN-CONTAINING ORGANIC COMPOUNDS IN THERMAL
WATERS OF THE MUTNOVSKY AND PARATUNSKY GEOTHERMAL
AREAS AND CALDERA UZON, KAMCHATKA

V.A. Poturay

The paper represents the study of oxygen-containing compounds composition in sterile steam-water mixture from wells and in high-temperature springs of the Mutnovskaya, Paratunskaya and Uzonskaya hydrothermal systems. Using the method of gas chromatography-mass spectrometry, the author identified 42 oxygen-containing compounds belonging to 7 homologous series. The organic matter relative content is 25%. Alcohols, esters, carboxylic acids, aldehydes and ketones of biogenic origin are widely distributed in the above-mentioned hydrothermal systems. Compositional features of carboxylic acids and alcohols indicate their biogenic genesis, as well. The author found some technogenic compounds only in boiling water of the Dachny thermal field, in the Mutnovsky area.

Keywords: hydrothermal system, thermal water, organic matter, genesis, carboxylic acids.