

УДК 550.461(571.63)

**Потурай Валерий Алексеевич**

кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник,  
заведующий лабораторией экологии,  
генетики и эволюции,  
Институт комплексного анализа  
региональных проблем ДВО РАН,  
679016, г. Биробиджан,  
ул. Шолом-Алейхема, 4  
e-mail: [poturay85@yandex.ru](mailto:poturay85@yandex.ru)

**СОСТАВ УГЛЕВОДОРОДОВ  
В УГЛЕКИСЛЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ  
ВОДАХ\****Аннотация:*

Исследование углеводородов и их производных в углекислых минеральных водах представляет значительный интерес, так как углекислый газ, находясь в сверхкритическом состоянии, может формировать уникальный состав органического вещества в подземных водах. В настоящей работе состав органических компонентов средней летучести в углекислых минеральных водах рассматривается на примере Шмаковских источников, которые находятся в Приморском крае (Дальний Восток России). Методом твердофазной экстракции, которая осуществлялась на месте отбора при помощи полевой установки, и капиллярной газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией в Шмаковских минеральных углекислых водах были найдены разнообразные углеводороды и их производные. Установленные соединения обладают молекулярной массой от 90 до 550 а.э.м. и летучестью от 70 до 550 °С. Среди идентифицированных компонентов преобладают алифатические углеводороды, представленные в основном нормальными и разветвленными алканами. Кислородсодержащие органические соединения (карбоновые кислоты, эфиры, альдегиды и спирты) имеют подчиненное значение, а ароматические углеводороды, включающие арены, полициклические ароматические углеводороды и гетероароматические соединения, распространены незначительно. Установленные органические соединения, вероятно, имеют бактериальное происхождение, включая трансформацию остатков органической природы микробиологического генезиса под действием сверхкритического флюида CO<sub>2</sub>. Кроме этого, минеральные воды Восточно-Уссурийского участка предположительно испытывают на себе антропогенное влияние. На это указывает присутствие в составе органического вещества хлоруглеводородов и фталатов, особенности молекулярно-массового распределения нормальных алканов и микробиологические исследования, которые были проведены ранее другими исследователями. Полученные результаты могут быть использованы бальнеологическими службами для определения соединений, благотворно влияющих на организм человека или наносящих вред. Кроме этого, данные анализов органических микропримесей могут быть оценены для выявления техногенного загрязнения минеральных вод, используемых для лечения людей.

DOI: 10.25635/2313-1586.2025.01.089

**Poturay Valery A.**

Candidate of Geological  
and Mineralogical Sciences,  
Senior Researcher, Head of the Laboratory,  
Laboratory of ecology, genetics and evolution,  
Institute for Complex Analysis  
of Regional Problems FEB RAS,  
679000 Birobidzhan, 4 Sholom-Aleikhem Str.  
e-mail: [poturay85@yandex.ru](mailto:poturay85@yandex.ru)

**COMPOSITION OF HYDROCARBONS  
IN CARBONACEOUS MINERAL WATERS***Abstract:*

The study of hydrocarbons and their derivatives in carbonaceous mineral waters is of considerable interest because the carbon dioxide, being in a supercritical state, can form a unique composition of organic matter in groundwater. In the paper, the composition of organic components of medium volatility in carbonaceous mineral waters is considered, using the example of the Shmakovka springs, located in the Primorsky region (Russian Far East). A variety of hydrocarbons and their derivatives were found in Shmakovskiye carbonic waters by solid-phase extraction, performed at the sampling site using a field unit, and capillary gas chromatography combined with mass spectrometry. The identified compounds have molecular weights between 90 and 550 dalton and volatilities between 70 and 550 °C. The identified components are dominantly aliphatic hydrocarbons, mainly represented by normal and branched alkanes. Oxygenated organic compounds (carboxylic acids, esters, aldehydes and alcohols) are of minor importance and aromatic hydrocarbons, including arenes, polycyclic aromatic hydrocarbons and heteroaromatic compounds, are not widespread. The organic compounds identified are probably of bacterial origin, including the transformation of residues of organic nature of microbiological genesis under the action of supercritical fluid CO<sub>2</sub>. In addition, the mineral waters of the Vostochno-Ussursky area are suspected of being anthropogenically influenced. This is suggested because of the presence of chlorinated hydrocarbons and phthalates in the organic matter, the molecular weight distribution characteristics of normal alkanes, and microbiological studies previously carried out by others. The results obtained can be used by balneological services to identify compounds that are beneficial or harmful to the human body. In addition, data from analyses of trace organic impurities can be used to detect anthropogenic contamination of mineral waters used for human treatment.

\* Исследование выполнено в рамках государственного задания Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН и финансировалось за счет средств его бюджета

*Ключевые слова:* углекислые минеральные воды, углеводороды, органическое вещество, генезис, сверхкритический флюид CO<sub>2</sub>, Шмаковка, техногенное загрязнение.

*Key words:* carbonaceous mineral waters, hydrocarbons, organic matter, genesis, supercritical fluid CO<sub>2</sub>, Shmakovka, anthropogenic pollution.

### *Введение*

Состав углеводородов (УВ) и их производных в минеральных водах России начали изучать примерно с середины прошлого века. К настоящему времени было определено общее содержание органического вещества (ОВ) и установлены его основные классы, среди которых преобладают УВ, карбоновые кислоты, их эфиры и другие кислородсодержащие органические соединения [1– 6]. Особое внимание в аспекте изучения водорастворимой органической составляющей минеральных источников заслуживают воды с высоким содержанием углекислого газа. Особенность этого газа состоит в его способности переходить в сверхкритическое состояние при сравнительно невысокой температуре (около 31 °С) и давлении около 7,3 МПа [2, 7], что возможно уже при небольших глубинах в земной коре (~ 500 – 700 м). CO<sub>2</sub> в виде сверхкритического флюида обладает высокой растворяющей способностью, что приводит к экстрагированию ОВ из водовмещающих пород и переносу его ближе к поверхности. В результате этого в углекислых водах может формироваться уникальный состав ОВ.

Исследования ОВ в углекислых минеральных водах немногочисленны, тем не менее изучение УВ проводилось в углекислых источниках Ессентукского и Нагутского месторождений [1], горноскладчатых областях Центральной Азии [6], Витимского Платогорья и Восточного Саяна [2, 3]. В этих работах приводится концентрация общего углерода органического, описываются основные классы и индивидуальные органические соединения и отмечается особая роль сверхкритического флюида CO<sub>2</sub>.

В настоящей работе состав УВ и их производных в углекислых минеральных водах будет обсуждаться на примере Шмаковского месторождения в Приморском крае. Шмаковка – один из самых крупных бальнеологических курортов на Дальнем Востоке, который представлен 3-мя санаториями («Шмаковский», «Изумрудный» и «Имени 50-летия Октября»). Воды этого месторождения относятся к бальнеологической группе лечебно-столовых холодных углекислых слабоминерализованных гидрокарбонатно-магниево-кальциевых вод, обогащенных кремниевой кислотой. Различные геологические и гидрогеологические аспекты, химический, газовый, изотопный и микробиологический составы этих вод хорошо изучены [8 – 11]. Однако состав ОВ в них до сих пор не изучался. В ходе наших предыдущих исследований было изучено ОВ средней летучести в горячих (температура 46 – 73 °С), холодных подземных (пресных) и поверхностных водах геотермальных месторождений континентальной части Дальнего Востока [12 – 16].

Цель работы – оценить состав органического вещества в углекислых минеральных водах Шмаковского месторождения и его генезис. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Определить индивидуальный состав углеводородов и их производных в воде из скважин четырех участков Шмаковского месторождения.
2. Оценить молекулярно-массовое распределение нормальных алканов.
3. Определить генезис установленных соединений.
4. Выявить соединения – индикаторы техногенного загрязнения.

### *Объекты и методы исследования*

Шмаковское месторождение углекислых минеральных вод расположено в западной части Приморского края, практически на границе Российской Федерации с КНР (рис. 1). Оно приурочено к разломам Павло-Федоровского горста. Водовмещающими породами являются палеозойские гранитоиды, перекрытые сверху маломощным слоем

аллювиальных отложений [10, 11]. Это воды с высоким содержанием углекислого газа (до 99 %) и минерализацией около 1 – 3 г/дм<sup>3</sup> [9, 11]. По изотопам углерода и соотношению CO<sub>2</sub>/<sup>3</sup>He – углекислый газ здесь имеет мантийное происхождение [9]. Соотношение изотопов кислорода и водорода указывает на метеорное происхождение минеральных вод [11]. В пределах этого месторождения проводилось изучение микроорганизмов [8]. Согласно результатам этих исследований численность гетеротрофных микроорганизмов, осуществляющих процессы разложения и минерализации ОВ в углекислых водах Приморья, в целом невысока, что говорит о низком содержании ОВ в этих водах. По численности преобладают микроорганизмы цикла серы и азота. В подземных водах Восточно-Уссурийского участка обнаружены общие колиформные бактерии, что свидетельствует об определенном антропогенном загрязнении минеральных вод этого участка.



Рис. 1. Обзорная карта с месторасположением углекислых вод Шмаковского месторождения

Пробы воды для анализа состава УВ были отобраны в сентябре 2023 г. из четырех скважин Шмаковского месторождения: скважина № 47 Восточно-Уссурийского участка; скважина № 2Э Уссурийского участка; скважина «Источник Остросопочный» Остросопочного участка и скважина № 15-70 Медвежьего участка. На месте отбора измерялись нестабильные параметры: рН и Eh – рН-метром Ohaus Starter-300 и температура – термометром Hanna HI 98509 Checktemp-1. Пробы воды собирались в посуду из темного стекла объемом 0,5 дм<sup>3</sup>. На месте отбора проводилась пробоподготовка методом твердофазной экстракции (ТФЭ) при помощи полевой установки [17, 18]. Для качественного анализа ОВ был использован метод капиллярной газовой хромато-масс-спектрометрии [13]. Анализ проводился в лаборатории ИКАРП ДВО РАН (аналитик – В.А. Потурай) на газовом хромато-масс-спектрометре Shimadzu GCMS-QP2010Ultra. Были получены хроматограммы по полному ионному току (ПИТ), по которым идентифицировались органические соединения средней летучести (рис. 2).

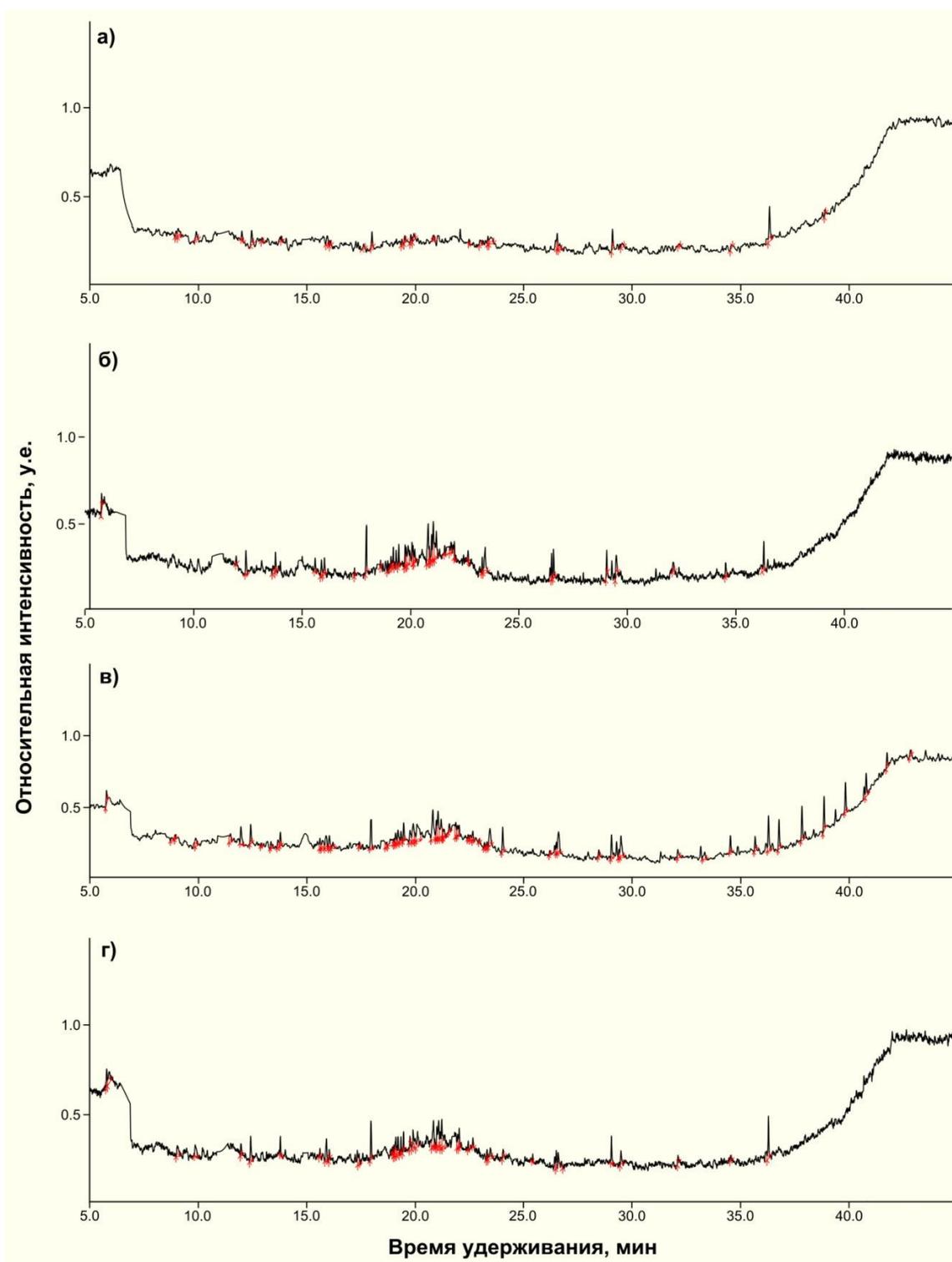


Рис. 2. Хроматограммы ПИТ экстрактов исследуемых вод:  
а) скважина № 15-70; б) скважина № 2Э; в) скважина № 47; источник «Остросопочный»

### *Результаты исследования и их обсуждение*

В Шмаковских минеральных водах установлено 106 органических компонентов (16 гомологических рядов) (табл. 1). При этом доминируют алифатические УВ и кислородсодержащие соединения. К алифатическим УВ относятся нормальные, изо-, цикло-, хлоралканы, алкены, алкины, изопрены и терпены. Присутствие алканов, алкенов и алкинов в исследуемых водах может быть связано с преобладанием диоксида углерода. Эти компоненты плохо растворимы в воде, однако под воздействием  $\text{CO}_2$  они могут переходить в жидкую фазу. Наличие этих компонентов зафиксировано также в угле-

кислых минеральных водах Тункинской впадины [2, 3]. Обращает на себя внимание присутствие в скважине Восточно-Уссурского участка хлоралкана (тетрахлорэтан), который не синтезируется микроорганизмами и может указывать на антропогенное загрязнение этих вод. Галогенпроизводные органические соединения могут образовываться также в процессе горения при лесных пожарах. В этом случае они могли бы усваиваться растениями из загрязненного воздуха и затем попадать в природные воды после деструкции. Однако пока нет определенных данных о содержании галогенсодержащих УВ в растительных тканях [19].

Таблица 1

**Гомологические ряды органических компонентов, установленных в углекислых минеральных водах Шмаковского месторождения**

№ п/п	Наименование гомологического ряда	сква. № 47	сква. № 2Э	Остро-сопочный	сква. № 15-70
		Доля, % (кол-во соединений)			
1	Нормальные алканы	33,3 (22)	26,6 (10)	16,0 (12)	18,9 (13)
2	Хлоралканы	0,4 (1)	–	–	3,2 (1)
3	Изоалканы	18,0 (16)	32,2 (13)	27,3 (12)	13,5 (6)
4	Циклоалканы (Нафтены)	7,8 (3)	11,2 (3)	6,1 (2)	0,3 (1)
5	Алкены и Алкины	3,6 (3)	3,8 (1)	12,4 (4)	10,3 (2)
6	Изопрены	3,1 (1)	–	–	–
7	Ароматические УВ (Арены)	2,4 (1)	–	–	–
8	Полициклические ароматические УВ (ПАУ)	1,0 (1)	1,6 (1)	0,8 (1)	–
9	Гетероароматические УВ	3,1 (5)	–	3,5 (2)	1,6 (1)
10	Карбоновые кислоты	–	–	0,4 (1)	–
11	Эфиры	6,8 (4)	5,4 (3)	9,6 (3)	4,5 (1)
12	Альдегиды	5,0 (4)	10,5 (5)	8,4 (4)	8,4 (3)
13	Спирты	6,0 (4)	1,8 (2)	6,2 (3)	6,5 (2)
14	Серосодержащие соединения	1,6 (1)	–	–	7,7 (1)
15	Терпены	1,4 (1)	–	–	–
16	Фталаты	6,5 (2)	6,9 (2)	9,3 (2)	25,1 (2)
<b>Итого</b>		<b>100 (69)</b>	<b>100 (40)</b>	<b>100 (46)</b>	<b>100 (33)</b>

Примечание: «–» – компонент не установлен.

К кислородсодержащим веществам, идентифицированным в исследуемых водах, относятся карбоновые кислоты и их эфиры, альдегиды и спирты. Эти соединения, вероятнее всего, имеют биогенное происхождение. Они являются промежуточными или побочными продуктами процессов аэробного разложения ОВ и его остатков и широко представлены в биосфере [19, 20]. Кроме этого, эти компоненты (например, эфиры) являются наиболее распространенной формой миграции органических веществ в водах, так как обладают хорошей растворимостью в воде [4]. Вероятнее всего, эфиры, альдегиды и спирты имеют бактериальное происхождение (на это указывает преобладание низкомолекулярных предельных УВ и присутствие в этих водах различных групп микроорганизмов), включая преобразование органических остатков бактериального происхождения под действием углекислого газа. Кроме этого, в скважине № 47, наряду с хлоралканом, зафиксирован хлорсодержащий эфир (тридецилдихлорацетат), происхождение которого также может быть связано с техногенным загрязнением.

Большой интерес представляет наличие и заметное относительное содержание эфиров фталевой кислоты. Эти соединения обычно рассматриваются как типичные загрязнители природных сред в результате антропогенного воздействия, так как являются универсальными пластификаторами и широко используются в пластмассовых и рези-

новых изделиях. Их наличие также связано с инструментальным загрязнением, локализующимся в системе узла ввода образца в прибор [21]. В исследуемых водах они имеют, вероятно, техногенное происхождение, тем более что их максимальное содержание в единицах прибора зафиксировано в воде из Восточно-Уссурского участка, где такое загрязнение предполагается, исходя из вышеприведенных данных.

К ароматическим УВ относятся арены (соединения с одним бензольным кольцом), ПАУ и гетероароматические соединения (компоненты, содержащие кроме углерода и водорода атомы других элементов). К аренам и ПАУ относятся только 1,3,5-трибутилбензол и нафталин, соответственно. Наиболее представлен гомологический ряд гетероароматических УВ, среди которых идентифицированы 6 соединений, содержащих атомы кислорода, азота и серы.

Интересно рассмотреть молекулярно-массовое распределение предельных УВ или *n*-алканов. Их состав и геохимические индексы, рассчитанные по данным молекулярно-массового распределения, используются для определения генезиса ОВ в водном объекте [22, 23]. В исследуемых водах найдены УВ  $n-C_{10}-C_{35}$ , причем высокомолекулярные гомологи характерны только для Восточно-Уссурского участка. В других скважинах алканы выше  $n-C_{22}$  практически не установлены, а нечетные полностью отсутствуют. Доминирующий УВ – тридекан, характерный бактериальный *n*-алкан, а группа низкомолекулярных гомологов  $n-C_{10}-C_{14}$  занимает от 47 до 73 % от состава *n*-алканов. При этом зафиксировано преобладание нечетных УВ в этой области, что указывает на преимущественно бактериальное происхождение ОВ. В воде Восточно-Уссурского участка доля высокомолекулярных соединений достигает 55 % от состава *n*-алканов, при этом индексы нечетности близки к единице. Вероятно, эта особенность *n*-алканов здесь снова указывает на техногенное загрязнение, тем более что оно для этого участка предполагается исходя из других характеристик ОВ и микроорганизмов.

#### Заключение

В результате проведенного исследования произведена оценка индивидуального состава органических соединений в исследуемых водах курорта Шмаковка и выявлен генезис установленных соединений. Были получены следующие выводы:

1. Определен состав углеводов и их производных в исследуемых водах. Всего зафиксировано 106 органических соединений, среди которых преобладают алифатические углеводороды.
2. Оценено молекулярно-массовое распределение нормальных алканов, которое заключается в преобладании низкомолекулярных нечетных углеводов.
3. Идентифицированные компоненты по характеру их распределения и доминирующим соединениям имеют бактериальное происхождение.
4. Выявлены индикаторы техногенного загрязнения минеральных вод Восточно-Уссурского участка, к которым относятся хлор-углеводороды и фталаты.

*Автор признателен генеральному директору ООО «Скит» Сергею Витальевичу Русакову за содействие в отборе проб воды.*

#### Список литературы

1. Абрамов В.Ю., 2014. Формирование органического химического состава углекислых минеральных вод Эссентукского и Нагутского месторождений. *Разведка и охрана недр*, № 5, С. 47–51.
2. Плюснин А.М., Украинцев А.В., Чернявский М.К., 2018. Органическое вещество в углекислых минеральных водах Витимского плоскогорья и Восточного Саяна. *Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами*. Под ред. Л.В. Заманы, С.Л. Шварцева. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, С. 68–71. DOI: 10.31554/978-5-7925-0536-0-2018-68-71.

3. Украинцев А.В., Плюснин А.М., 2020. Алифатические углеводороды углекислых минеральных и азотных термальных вод Западного Забайкалья. *Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами*. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, С. 179–183. DOI: 10.31554/978-5-7925-0584-1-2020-179-183.
4. Украинцев А.В., Плюснин А.М., Чернявский М.К., 2024. Формирование газового, микроэлементного состава и растворенных органических веществ в железистых минеральных водах Западного Забайкалья. *Геохимия*, Т. 69, № 6, С. 562–576. DOI: 10.31857/S0016752524060069.
5. Швец В.М., Кирюхин В.К., 1974. Органические вещества в минеральных лечебных водах. *Бюл. МОИП. Отделение геологии*, № 6, С. 83–96.
6. Шпейзер Г.М., Васильева Ю.К., Гановичева Г.М., Минеева Л.М., Родионова В.А., Ломоносов И.С., Ванг Янсинь, 1999. Органические вещества в минеральных водах горноскладчатых областей центральной Азии. *Геохимия*, № 3, С. 302–311.
7. Абрамов В.Ю., Пятаев А.А., 2021. Возможность формирования углеводородных систем термометаморфического генезиса и роль гидротермальных сверхкритических флюидов. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, Т. 16, № 1, С. 8. DOI: 10.17353/2070-5379/4\_2021.
8. Калитина Е.Г., Харитоновна Н.А., Челноков Г.А., Вах Е.А., 2015. Микробиологический состав углекислых минеральных вод Приморского края (распространение, численность бактерий, условия их обитания). *Вестник ДВО РАН*, № 5, С. 53–62.
9. Челноков Г.А., Харитоновна Н.А., Брагин И.В., 2013. Состав и генезис газов углекислых минеральных вод юга Дальнего Востока России. *Известия высших учебных заведений. Геология и Разведка*, № 5, С. 42–46.
10. Чудаева В.А., Чудаев О.В., Челноков А.Н., Эдмундс У.М., Шанд П., 1999. *Минеральные воды Приморья (химический аспект)*. Владивосток: Дальнаука, 163 с.
11. Kharitonova N.A., Chelnokov G.A., Chudaev O.V., Bragin I.V., 2015. Groundwater at Shmakovka Spa: Chemical Composition and Element Sources. *Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering*, Vol. 4, № 2, P. 126–130. DOI: 10.5963/JWRHE0402001.
12. Потурай В.А., 2016. Органическое вещество в холодных подземных водах районов азотных терм Приамурья. *Региональные проблемы*, Т. 19, № 4, С. 59–66.
13. Потурай В.А., 2022. Органическое вещество и молекулярно-массовое распределение углеводородов в Анненских термальных водах (Дальний Восток, Россия). *Геология и Геофизика*, Т. 63, № 10, С. 1352–1368. DOI: 10.15372/GiG2021150.
14. Потурай В.А., 2017. Состав и распределение n-алканов в азотных термах Дальнего Востока России. *Тихоокеанская геология*, Т. 36, № 4, С. 109–119.
15. Потурай В.А., 2010. Сравнение химического состава термальных, сточных и грунтовых вод Кульдурского района. *Региональные проблемы*, Т. 13, № 2, С. 92–96.
16. Потурай В.А., Строчинская С.С., Компаниченко В.Н., 2018. Комплексная биогеохимическая характеристика термальных вод Тумнинского месторождения. *Региональные проблемы*, Т. 21, № 1, С. 22–30.
17. Потурай В.А., 2024. Применение метода твердофазной экстракции при исследовании органического вещества в гидротермальных системах Дальнего Востока России. *Региональные проблемы*, Т. 27, № 4, С. 30–48. DOI: 10.31433/2618-9593-2024-27-4-30-48.
18. Украинцев А.В., Плюснин А.М., 2019. Применение метода твердофазной экстракции для анализа состава растворенных органических веществ в углекислых минеральных водах. *Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике*. Улан-Удэ: Геологический институт СО РАН, С. 90–92.
19. Randazzo A., Folino A., Tassi F., Tatano F., Rosa S., Gambioli A., 2022. Volatile organic compounds from green waste anaerobic degradation at lab-scale: evolution and

comparison with landfill gas. *Detritus*, Vol. 19, P. 63–74. DOI: 10.31025/2611-4135/2022.15188.

20. Hunt J.M., 1979. *Petroleum geochemistry and geology*. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 617 p.

21. Потурай В.А., 2024. Проблемы инструментального анализа состава органических соединений в природных водах. *Региональные проблемы*. Т. 27, № 3, С. 74–76. DOI: 10.31433/2618-9593-2024-27-3-74-76.

22. Umoh U.U., Li L., He J., Chen L., Dong L., Jia G., Lahajnar N., Massoth G., Schwarz-Schampera U., 2021. Unusual aliphatic hydrocarbon profiles at hydrothermal vent fields of the Central and Southeast Indian Ridges and Mid-Indian Basin. *Deep-Sea Research Part II*, Vol. 194, # 104996. DOI: 10.1016/j.dsr2.2021.104996.

23. Wang B., Yang J., Jiang H., Zhang G., Dong H., 2019. Chemical composition of n-alkanes and microbially mediated n-alkane degradation potential differ in the sediments of Qinghai-Tibetan lakes with different salinity. *Chem. Geol.*, Vol. 524, P. 37–48. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2019.05.038.

### References

1. Abramov V.Yu., 2014. Formirovanie organicheskogo khimicheskogo sostava uglekislykh mineral'nykh vod Essentukского i Nagutского месторождений [Forming organic compound of the carbon dioxide mineral waters in the Essentuksky and Nagutsky deposits]. *Razvedka i okhrana neдр*, № 5, P. 47–51.

2. Plyusnin A.M., Ukraintsev A.V., Chernyavskii M.K., 2018. Organicheskoe veshchestvo v uglekislykh mineral'nykh vodakh Vitimского плоскогор'я i Vostochnого Sayana. *Geologicheskaya evolyutsiya vzaimodeistviya vody s gornymi porodami* Organic matter in carbonaceous mineral waters of Vitim plateau and Eastern Sayan]. Pod red. L.V. Zamany, S.L. Shvartseva. Ulan-Ude: Izd-vo BNTs SO RAN, P. 68–71. DOI: 10.31554/978-5-7925-0536-0-2018-68-71.

3. Ukraintsev A.V., Plyusnin A.M., 2020. Alifatiche–skie uglevodorody uglekislykh mineral'nykh i azotnykh termal'nykh vod Zapadного Zabaikal'я [Aliphatic hydrocarbons of carbonaceous mineral and nitrogen thermal waters of Western Transbaikalia]. *Geologicheskaya evolyutsiya vzaimodeistviya vody s gornymi porodami*. Ulan-Ude: Izd-vo BNTs SO RAN, P. 179–183. DOI: 10.31554/978-5-7925-0584-1-2020-179-183.

4. Ukraintsev A.V., Plyusnin A.M., Chernyavskii M.K., 2024. Formirovanie gazovogo, mikroelementnogo sostava i rastvorenykh organicheskikh veshchestv v zhelezistykh mineral'nykh vodakh Zapadного Zabaikal'я [Formation of gas, microelements, and dissolved organic matter compositions in the ferruginous mineral waters of Western Transbaikalia]. *Geokhimiya*, Vol. 69, № 6, P. 562–576. DOI: 10.31857/S0016752524060069.

5. Shvets V.M., Kiryukhin V.K., 1974. Organicheskie veshchestva v mineral'nykh lechebnykh vodakh. *Byul. MOIP. Otdelenie geologii*, № 6, P. 83–96.

6. Shpeizer G.M., Vasil'eva Yu.K., Ganovicheva G.M., Mineeva L.M., Rodionova V.A., Lomonosov I.S., Vang Yansin', 1999. Organicheskie veshchestva v mineral'nykh vodakh gornoskladchatykh oblastei tsentral'noi Azii [Organic matter in mineral therapeutic waters of orogenic regions of Central Asia]. *Geokhimiya*, № 3, P. 302–311.

7. Abramov V.Yu., Pyataev A.A., 2021. Vozmozhnost' formirovaniya uglevodorodnykh sistem termometamorficheskogo genezisa i rol' gidrotermal'nykh sverkhkriticheskikh flyuidov [The possibility of hydrocarbon systems by thermometamorphical genesis and the role of hydrothermal supercritical fluids]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, Vol. 16, № 1, P. 8. DOI: 10.17353/2070-5379/4\_2021.

8. Kalitina E.G., Kharitonova N.A., Chelnokov G.A., Vakh E.A., 2015. Mikrobiologicheskii sostav uglekislykh mineral'nykh vod Primorskogo kraя (rasprostranenie, chislenost' bakterii, usloviya ikh obitaniya) [Microbiological composition of carbonic mineral wa-

ters of Primorsky Krai (distribution, bacterial abundance, habitat conditions)]. Vestnik DVO RAN, № 5, P. 53–62.

9. Chelnokov G.A., Kharitonova N.A., Bragin I.V., 2013. Sostav i genezis gazov uglekislykh mineral'nykh vod yuga Dal'nego Vostoka Rossii [Composition and genesis of carbon dioxide mineral water gases in the south of the Russian Far East]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i Razvedka, № 5, P. 42–46.

10. Chudaeva V.A., Chudaev O.V., Chelnokov A.N., Edmunds U.M., Shand P., 1999. Mineral'nye vody Primor'ya (khimicheskii aspekt) [Mineral waters of Primorye (chemical aspect)]. Vladivostok: Dal'nauka, 163 p.

11. Kharitonova N.A., Chelnokov G.A., Chudaev O.V., Bragin I.V., 2015. Groundwater at Shmakovka Spa: Chemical Composition and Element Sources. Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering, Vol. 4, № 2, P. 126–130. DOI: 10.5963/JWRHE0402001.

12. Poturai V.A., 2016. Organicheskoe veshchestvo v kholodnykh podzemnykh vodakh raionov azotnykh term Priamur'ya [Organic matter in cold groundwater of the nitrogenous thermal areas of the Amur region]. Regional'nye problemy, Vol. 19, № 4, P. 59–66.

13. Poturai V.A., 2022. Organicheskoe veshchestvo i molekulyarno-massovoe raspredelenie uglevodorodov v Annenskikh termal'nykh vodakh (Dal'nii Vostok, Rossiya) [Organic matter and molecular-weight distribution of hydrocarbons in the Annenskoe thermal waters (Far East, Russia)]. Geologiya i Geofizika, Vol. 63, № 10, P. 1352–1368. DOI: 10.15372/GiG2021150.

14. Poturai V.A., 2017. Sostav i raspredelenie n-alkanov v azotnykh termakh Dal'nego Vostoka Rossii [Composition and distribution of n-alkanes in nitrogen thermal waters of the Russian Far East]. Tikhookeanskaya geologiya, Vol. 36, № 4, P. 109–119.

15. Poturai V.A., 2010. Sravnenie khimicheskogo sostava termal'nykh, stochnykh i gruntovykh vod Kul'durskogo raiona [Comparison of chemical composition of thermal, waste and ground waters of Kuldur district]. Regional'nye problemy, Vol. 13, № 2, P. 92–96.

16. Poturai V.A., Strochinskaya S.S., Kompanichenko V.N., 2018. Kompleksnaya biogeokhimicheskaya kharakteristika termal'nykh vod Tumninskogo mestorozhdeniya [Complex biogeochemical characteristics of the thermal waters on the Tumninskoye deposit]. Regional'nye problemy, Vol. 21, № 1, P. 22–30.

17. Poturai V.A., 2024. Primenenie metoda tverdogaznoi ekstraktsii pri issledovanii organicheskogo veshchestva v gidrotermal'nykh sistemakh Dal'nego Vostoka Rossii [Application of solid-phase extraction method in the study of organic matter in hydrothermal systems of the Russian Far East]. Regional'nye problemy, Vol. 27, № 4, P. 30–48. DOI: 10.31433/2618-9593-2024-27-4-30-48.

18. Ukraintsev A.V., Plyusnin A.M., 2019. Primenenie metoda tverdogaznoi ekstraktsii dlya analiza sostava rastvorenykh organicheskikh veshchestv v uglekislykh mineral'nykh vodakh. Baikal'skaya molodezhnaya nauchnaya konferentsiya po geologii i geofizike. [Application of solid-phase extraction method to analyse the composition of dissolved organic substances in carbonaceous mineral waters]. Ulan-Ude: Geologicheskii institut SO RAN, P. 90–92.

19. Randazzo A., Folino A., Tassi F., Tatano F., Rosa S., Gambioli A., 2022. Volatile organic compounds from green waste anaerobic degradation at lab-scale: evolution and comparison with landfill gas. *Detritus*, Vol. 19, P. 63–74. DOI: 10.31025/2611-4135/2022.15188.

20. Hunt J.M., 1979. *Petroleum geochemistry and geology*. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 617 p.

21. Poturai V.A., 2024. Problemy instrumental'nogo analiza sostava organicheskikh soedinenii v prirodnykh vodakh [Problems of instrumental analysis of the composition of organic compounds in natural waters]. Regional'nye problemy. Vol. 27, № 3, P. 74–76. DOI: 10.31433/2618-9593-2024-27-3-74-76.

22. Umoh U.U., Li L., He J., Chen L., Dong L., Jia G., Lahajnar N., Massoth G., Schwarz-Schampera U., 2021. Unusual aliphatic hydrocarbon profiles at hydrothermal vent fields of the Central and Southeast Indian Ridges and Mid-Indian Basin. *Deep-Sea Research Part II*, Vol. 194, # 104996. DOI: 10.1016/j.dsr2.2021.104996.

23. Wang B., Yang J., Jiang H., Zhang G., Dong H., 2019. Chemical composition of n-alkanes and microbially mediated n-alkane degradation potential differ in the sediments of Qinghai-Tibetan lakes with different salinity. *Chem. Geol.*, Vol. 524, P. 37–48. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2019.05.038.