DOI: 10.24412/2076-6785-2026-3-24-30 УДК 553.98 I Научная статья

Вулканизм и вопросы нефтегазоносности на основе металлогенической специализации нафтидов

Пунанова С.А.
Институт проблем нефти и газа РАН, Россия, Москва
s_punanova@ipng.ru

Аннотация
Проанализирован комплекс данных по микроэлементному (МЭ) составу нафтидов регионов, связанных с вулканической деятельностью. Представлены результаты исследования продуктов деятельности грязевых вулканов и нефтей месторождений западного борта Южно-Каспийской впадины, нефтей осадочных бассейнов Камчатки, нефтяных выходов кальдеры вулкана Узон, термальных источников и озер кальдеры. Сравниваются коэффициенты корреляции между МЭ составами нефти, биоты и континентальной коры. Отмечена близость геохимических показателей нефтей и нефтепроявлений грязевого вулканизма, а также нафтидов и термальных вод Западно-Камчатского бассейна. Приводятся данные о распространении грязевого вулканизма в арктическом шельфе регионов Сибири. Отмечается эффективность использования данных о МЭ составе нафтидов и необходимость изучения процессов вулканизма для развития приоритетных направлений поисков УВ скоплений в регионах гидротермальной активности, на больших глубинах и в арктическом секторе России.

Материалы и методы
Фактический и экспериментальный материал по особенностям физико-химических свойств, углеводородного и МЭ состава нефтей Камчатки, нефтепроявлений кальдеры вулкана Узон и термальных вод региона. Оцениваются данные по содержанию МЭ в нафтидах месторождений и нефтепроявлений грязевого вулканизма Азербайджана. Использована методика подсчета коэффициента корреляции между составами различных геологических объектах.

Ключевые слова
Камчатка, кальдера вулкана Узон, Южно-Каспийская впадина, арктический шельф, микроэлементы, коэффициенты корреляции, углеводороды, термальные воды

Финансирование. FMME-2025-0012. Фундаментальный базис инновационных, цифровых технологий прогноза, поиска, разведки и освоения нефтегазовых ресурсов (фундаментальные, поисковые, прикладные, экономические и междисциплинарные исследования до 2030 года).

Для цитирования
Пунанова С.А. Вулканизм и вопросы нефтегазоносности на основе металлогенической специализации нафтидов // Экспозиция Нефть Газ. 2026. № 3. С. 24–30. DOI: 10.24412/2076-6785-2026-2-24-30

Поступила в редакцию: 05.05.2026

UDC 553.98 I Original Paper

Volcanism and petroleum potential based on the metallogenic specialization of naphthides

Punanova S.A.
Oil and gas research institute RAS, Moscow, Russia
s_punanova@ipng.ru

Abstract
A set of data on the Trace Element (TE) composition of naphthides in regions associated with volcanic activity is analyzed. The results of a study of the products of mud volcanoes and oils from fields on the western side of the South Caspian Basin, oils from Kamchatka sedimentary basins, oil vents of the Uzon volcano caldera, thermal springs and lakes of the caldera are presented. Correlation coefficients between the TE compositions of oil, biota and continental crust are compared. A closeness of geochemical parameters of oils and oil shows of mud volcanism, as well as naphthides and thermal waters of the West Kamchatka Basin, is noted. Data on the distribution of mud volcanism on the Arctic shelf of the Siberian regions are presented. The effectiveness of using data on the TE composition of naphthides and the need to study volcanic processes for the development of priority areas of hydrocarbon accumulation exploration in regions of hydrothermal activity, at great depths and in the Arctic sector of Russia are noted.

Materials and methods
Factual and experimental data on the physicochemical properties, hydrocarbon, and trace element composition of Kamchatka oils, oil seeps from the Uzon Volcano caldera, and thermal waters in the region are presented. Data on the trace element content in naphthides from oil fields and seeps in mud volcanism in Azerbaijan are assessed. A method for calculating the correlation coefficient between the compositions of various geological features is used.

Keywords
Kamchatka, Uzon volcano caldera, South Caspian depression, Arctic shelf, trace elements, correlation coefficients, hydrocarbons, thermal waters

For citation
Punanova S.A. Volcanism and petroleum potential based on the metallogenic specialization of naphthides. Exposition Oil Gas, 2026, issue 3, P. 24–30. (In Russ). DOI: 10.24412/2076-6785-2026-3-24-30

Received: 05.05.2026

Введение

В связи с истощением нефтегазовых ресурсов в традиционных регионах с выявленной высокой нефтегазоносностью верхних горизонтов осадочного чехла, в ловушках антиклинального строения, становится приоритетной выработка научно-обоснованных подходов к прогнозу и поискам скоплений углеводородов (УВ), как на больших глубинах, так и в новых регионах, а также в регионах грязевого вулканизма, процессы проявления которого тесно связаны с нефтегазоносностью. В настоящее время исследования по оценке связи вулканизма, и как варианта грязевого вулканизма, и нефтегазоносности, отражены в многочисленных публикациях: представлены комплексные подходы к явлению на основе данных о нефтегазоносности, тектоники, сейсмичности с привлечением арктических регионов [1–3].

Специфика данного исследования объясняется использованием для реконструкций геологических процессов и их объяснений данных по содержанию в геологических объектах большого комплекса МЭ, безусловно в связи с другими геохимическими их характеристиками. В настоящее время геохимические исследования в нефтяной геологии приобретают все большую значимость и актуальность. Все разнообразие геологических процессов, происходивших при захоронении первичного исходного для нефтегазообразования органического вещества (ОВ) и дальнейшем преобразовании УВ, отражено в особенностях состава нефти, в частности, в содержании и соотношениях МЭ.

В представленном исследовании объединены два различных региона — Азербайджан и Камчатка, исследованы месторождения нефти и проявления нафтидогенеза как в бассейновых нефтях, так и в нефтепроявлениях, связанных с вулканизмом. Это объединение не случайно, несмотря на то что нефти кальдеры вулкана Узон считаются нафтидами гидротермального происхождения, представленные нефти двух регионов являются нефтями, которые образовались в условиях схожего онтогенеза, представляя класс раннекатагенетических флюидов. Цель исследования — отразить геохимические особенности бассейновых нефтей регионов и вулканических нефтепроявлений, выявить между ними черты сходства и различий, а также провести параллель с продуктами вулканической деятельности на сибирском арктическом шельфе, в частности на территории моря Лаптевых.

Результаты и обсуждение

Грязевые вулканы западного борта Южно-Каспийской впадины и особенности микроэлементного состава

На западном борту Южно-Каспийской впадины на территории Азербайджана установлено, что более 80 % известных нефтегазовых месторождений осложнены грязевыми вулканами. Отмечается, что очаги грязевых вулканов приурочены к глубокозалегающим горизонтам осадочного разреза Южно-Каспийской впадины, которые характеризуются сверхвысокими пластовыми давлениями (80–100 МПа и более) [4–7]. От окружающих впадину орогенических элементов к ее внутренним частям наблюдается резкое погружение поверхности мезозоя и соответственно возрастание мощности кайнозоя, подошва которого, достигает 8–12 км на Абшеронском полуострове, 8–10 км в Шамаха-Гобустанском и Нижнекуринском районах и 14–20 км на Абшеронском пороге и в Южном Каспии.

Промышленная нефтеносность связана в основном с плиоценовыми отложениями, мощность которых достигает 4 км. Основной нефтегазоматеринской толщей являются терригенные отложения среднего плиоцена, в которой развита полифациальная дельтовая формация, сложенная мощным комплексом (>3000 м) глинистых и песчано-алевритовых пород. Геохимические условия формирования данных отложений — от окислительных до восстановительных в пределах Бакинского архипелага, Абшеронского района и центральной части Нижнекуринской впадины. Толща содержит сапропелево-гумусовое органическое вещество (ОВ) с кларковыми содержаниями $C_{орг}$ 0,5–1,0%. Тип ОВ и степень его катагенетического преобразования очень изменчивы. В районах, приуроченных к бортовым частям Нижнекуринской впадины, ОВ гумусового и сапропелево-гумусового типа, а степень катагенеза ОВ в этом районе изменяется от градации $ПК_1$ до $МК_1$. Для Абшеронского района Бакинского архипелага и ряде участков внутренней зоны Нижнекуринской впадины характерно присутствие ОВ, богатого сапропелевым материалом, преобразованного в основном до градаций катагенеза $ПК_3$-$МК_1$, редко до $МК_2$. Исследование таких нефтей (ранней генерации), проведенное в [8] на широком геологическом материале (бассейны России, Азербайджана, Белоруссии, Грузии, Западной Туркмении, Таджикистана, Казахстана, США, Израиля, Западной Канады, Бразилии, Австралии, Гватемалы, Новой Зеландии, Китая, Нигерии), позволило выделить их в самостоятельный класс нефтей никелевой металлогении. Характеризуются как нефти, обедненные МЭ, в особенности основными, хорошо изученными элементами нефтяной золы — V и Ni, связанными с асфальтово-смолистыми компонентами. Содержания этих элементов ниже 10 г/т. Характерно преобладание Fe и Ni над содержанием V. Генетический показатель — отношение V/Ni меньше 1, а тип нефти железистый, либо никелевый с возможным накоплением в них редких и рассеянных элементов, связанных с глубинными отложениями, процессами вулканизма и влиянием при этом гидротерм.

Привлечение данных по содержанию МЭ в продуктах грязевого вулканизма единичны. В работе [9] показано, что некоторые биофильные элементы (Cu, Co, Zn, V, Ni, Mo и др.) в сопочном иле грязевых вулканов Северо-Западного Кавказа достаточно прочно связаны с ОВ.

Результаты анализа МЭ составов грязевулканических нефтепроявлений и нефтей представлены на рисунке 1, на котором последовательно сравниваются в пробах содержания МЭ по трем областям: Абшеронской (I), Шамаха-Гобустанской (II) и Нижнекуринской (III). Детальные данные о содержаниях и методах исследования содержаний МЭ в регионах Азербайджана приведены в работе [10].

Основной вывод представленного материала о сравнительной оценке нафтидов в трех изучаемых регионах состоит в общем тренде изменения содержания МЭ в изученных объектах, что вероятно свидетельствует о их генетическом единстве, однако, при этом, концентрации МЭ в нефтепроявлениях грязевых вулканов существенно выше, нежели в нефтях. Это объясняется процессами гипергенного преобразования нефтепроявлений грязевых вулканов, потерей, улетучиванием легких фракций, процессами окисления и биодеградации и соответствующим повышением содержания смолисто-асфальтеновых компонентов и содержаний в них МЭ.

Различия в обогащенности нефтей теми или иными МЭ объясняются различием исходного ОВ — сапропелевого или гумусово-сапропелевого, и степенью его катагенетического преобразования. Кроме того, необходимо еще раз подчеркнуть, что нафтиды могут содержать элементы, связанные с легкими компонентами нефтей, редкоземельные элементы, платиноиды, характерные для глубинных процессов и магматических эманаций [11].

О перспективности глубинных отложений Южно-Каспийского НГБ могут свидетельствовать результаты расчетов коэффициентов корреляции между содержаниями МЭ

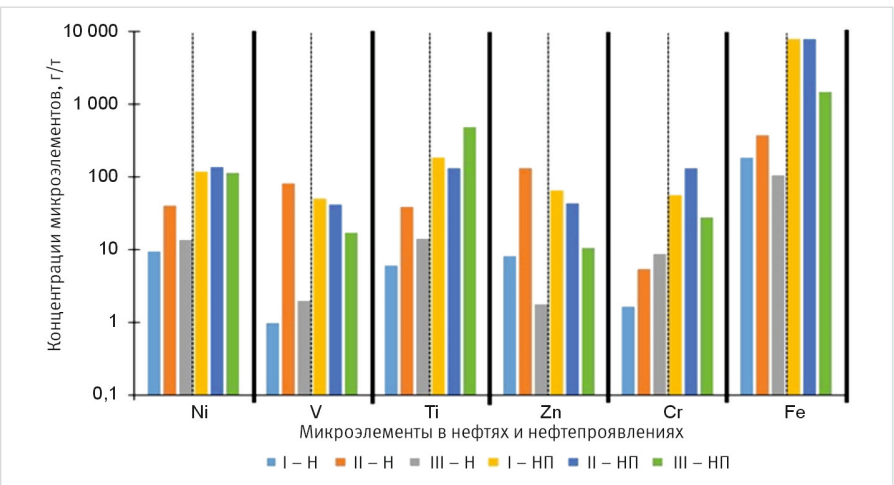

Рис. 1. Оценка содержаний микроэлементов в нефтях (Н) и нефтепроявлениях (НП) грязевых вулканов в различных областях Азербайджана: Абшеронской (I), Шамаха-Гобустанской (II) и Нижнекуринской (III) (пунктирная вертикальная линия разграничивает величины содержаний каждого элемента в пробах нефтей и нефтепроявлений)
Fig. 1. Evaluation of trace element content in oils (O) and oil shows (OS) of mud volcanoes in various regions of Azerbaijan: Absheron (I), Shamakhi-Gobustan (II) and Nizhnekura (III) (the dotted vertical line delimits the content of each element in oil samples and oil shows)

Табл. 1. Коэффициенты корреляции между составами вод, коры и биоты
Tab. 1. Correlation coefficients between the compositions of water, crust and biota

Район (число анализов)	Состав континентальной коры			Биота			
	верхняя	средняя	нижняя	Морские		Наземные	
				растения	животные	растения	животные
Абшерон (5)	0,42±0,04	0,48±0,04	0,44±0,04	0,72±0,04	0,77±0,02	0,67±0,02	0,65±0,03
Шемаха-Гобустан (23)	0,42±0,01	0,48±0,01	0,44±0,01	0,75±0.01	0,76±0,01	0,66±0,01	0,67±0,01
Р. Кура (12)	0,47±0,03	0,55±0,03	0,50±0,03	0,76±0,02	0,79±0,01	0,70±0,01	0,69±0,01

Примечание: * — погрешность оценки среднего коэффициента корреляции; 26 — жирным шрифтом выделены максимальные значения корреляции (для коры и биоты)

Рис 2. Пульсирующий источник в кальдере вулкана Узон (фото В.А. Злотникова)
Fig. 2. Pulsating spring in the caldera of the Uzon volcano (photo by V.A. Zlotnikov)

Рис. 3. Схема расположения отбора проб нефти на Камчатке [19, 20]. Площади: 1 — Лиманская, скв. 1, 2085–2100 м; 2 — р. Богачевка, естественный выход нефти; 3 — Богачевская, скв. 37, 490 м; 4 — Двухлагерная, скв. 50, 453,6 м; 5 — кальдера вулкана Узон, шурф, 1,5 м
Fig. 3. Layout of oil sampling sites in Kamchatka [19, 20]. Area: 1 – Limanskaya, well 1, 2085–2100 m; 2 – Bogachevka River, natural oil seep; 3 – Bogachevskaya, well 37, 490 m; 4 – Dvukhlagernaya, well 50, 453,6 m; 5 – Uzon volcano caldera, pit, 1,5 m

грязевулканических вод Азербайджана (по аналитическим данным [12]) с модельным составом континентальной коры и биотой — морской и наземной, полученные ранее в комплексе с составами вод Большого Кавказа [13]. Наибольшая корреляция состава МЭ грязевулканических вод Азербайджана (по трем исследованным регионам) отмечается с составом средней коры по сравнению с составами верхней и нижней (табл. 1), что может указывать на достаточно глубокое зарождение вод грязевых вулканов Азербайджана, что подтверждается сейсмологическими данными о значительной, до 20 км, глубине корней ряда грязевых вулканов Черного моря и Азербайджана и данными о глубинах основных магматических камер. При этом наблюдается часто более высокая корреляция с химическим составом морской фауны, а не наземной. Это является указанием на сапропелево-гумусовый тип исходного ОВ, что согласуется с геохимической характеристикой процессов генерации УВ на территории бассейна.

Бассейновые нефти Камчатки, кальдера вулкана Узон, термальные источники и озера кальдеры: особенности микроэлементного состава

Кальдера вулкана Узон представляет собой обширное геотермальное поле, расположенное в восточной части Камчатки (Восточно-Камчатский прогиб) (рис. 2). Нефтяные выходы кальдеры вулкана Узон и нефтяные месторождения нефтегазоносного бассейна (НГБ) Камчатки изучались многими исследователями (Бескровный и Лебедев, 1971; Кудрявцева и др., 1993; Темянко и др., 1990; Bazhenova et. al., 1998; Якуцени, 2005; Конторович и др., 2011; Ablya and Slivko, 2011; Варфоломеев и др., 2011; Варфоломеев, 2013; Фурсенко и др., 2014; Добрецов и др., 2015).

Нефти Камчатского региона относятся к раннекатагенетическим нефтям гидротермального генезиса, изучение которых в последние годы приобретает большое значение, давая дополнительный ключ к проблеме происхождения нафтидов. Большинство исследователей под гидротермальными нефтями понимает скопления УВ флюидов, образующихся из ОВ осадочных пород в результате их термокаталитической переработки под воздействием горячих восходящих растворов гидротерм. Гидротермальные нефти встречаются в разных геотектонических обстановках. Они могут быть связаны с системой спрединга (срединно-океанические хребты, в частности район Калифорнийского залива, бассейн Гуйамас и др.), с рифтами, обусловленными мантийными плюмами (оз. Байкал, Красное море, Йеллоустонский парк — США и др.), островными дугами и окраинными морями (Новая Зеландия — источники Нгава, кальдера вулкана Вакамико — Япония, кальдера вулкана Узон — Камчатка и др.) [14]. На основании изучения УВ-состава и, в частности, соотношения различных биомаркеров, предполагается, что гидротермальные нефти образуются за счет полигенного ОВ. Состав УВ нефтей кальдеры Узон характеризуется значительным разнообразием. Источниками нефти явились липиды остатков наземной растительности, аквабионты — обитатели осадков кальдеры и придонных вод и живое вещество бактерий. Для некоторых выходов отмечается преобладание н-алканов при отношении П/Ф, близком к единице, что свидетельствует о морском типе исходной органики. В других — преобладают изоалканы с отношением П/Ф менее 0,3–0,5. Встречаются и нефти, содержащие необычные УВ, такие как 12- и 13-метилалканы [15–17].

Рассматриваемые нефти отвечают ранней стадии нефтегенерации, при которой характер распределения биомаркеров в первую очередь отражает генетические особенности исходного ОВ (без их существенного преобразования). В этой связи уместно отметить, что А.Э. Конторович назвал кальдеру вулкана Узон «природной лабораторией современного нефтеобразования», подчеркнув тем самым, что при интенсивной восходящей разгрузке гидротерм осадки прогреваются до температур, характерных для глубин в 2–3 км, и нефтеобразование быстро реализуется на основе современного захороненного в осадках ОВ [18]. При этом эти нефти не подвержены вторичным преобразованиям, меняющим их генетический код.

МЭ состав нефтей Камчатки дает важную дополнительную информацию для геохимических интерпретаций. Результаты определения МЭ в нефтях методом нейтронно-активационного анализа были опубликованы в [19, 20]. В этих работах анализировались пробы нефти, отобранные из разведочных скважин, пробуренных в НГБ, сложенных терригенными породами палеоген-неогенового возраста: на юге Анадырской впадины Чукотки (Изменная, скв. 10), в Ичинском прогибе Западной Камчатки (Лиманская, скв. 1), в Восточно-Камчатском прогибе (Богачевская, скв. 37 и естественный выход, Двухлагерная, скв. 50) и из шурфа и закопушек на фумарольном поле в северной части кальдеры вулкана Узон, расположенного в центральной части Восточно-Камчатского вулканического пояса (рис. 3).

Нефть кальдеры вулкана Узон отличается от нефтей других упомянутых месторождений более высокой плотностью (0,915 г/см^3), большим содержанием серы (2,0%) и меньшим выходом бензиновых фракций. Распределение МЭ в нефтепроявлениях

кальдеры вулкана Узон и нефтях Камчатки показано на рисунке 4. Нафтиды характеризуются низкими содержаниями всех идентифицированных элементов. Концентрации Pd, Ag и Au, не представленные на рисунке 4, во всех исследованных пробах составляют менее 0,002 г/т. Содержание V и Ni в нефти кальдеры Узон, так же, как и в других пробах понижено и составляет соответственно 0,062 и 0,24 г/т (V/Ni = 0,26), тогда как содержание Cu, Zn, Sn, Pb, Mn существенно выше (соответственно, г/т, 5,28; 3,61; 1,11; 0,65; 0,46). Все нефти по характеру содержания МЭ довольно близки и относятся к обедненным МЭ нефтям никелевого типа (V/Ni < 1).

Близкий тренд распределения МЭ в бассейновых нефтях и нефтепроявлениях кальдеры вулкана Узон может свидетельствовать об генетическом единстве нафтидов. Отметим лишь, что в нефтепроявлениях кальдеры и ближайшей к ней по расположению и по составу МЭ Двухлагерной площади, содержания ряда МЭ несколько выше, чем в других пробах. Однако, по мнению С.П. Якуцени [20], несмотря на эти отличия и приуроченность нефтепроявлений к той части кальдеры Узона, где развиты «живые» разломы, считать, что нефть кальдеры является глубинной нет оснований из-за близости ее по общему содержанию МЭ к нефтям Двухлагерной площади, расположенной в Восточно-Камчатском НГБ, сложенному терригенными отложениями.

Статистический анализ всей совокупности содержаний МЭ позволил детализировать соотношение нефтей кальдеры Узона и нефтей других месторождений Камчатки. В таблице 2 представлены коэффициенты взаимной корреляции логарифмов концентрации МЭ для перечисленных выше проб. Кроме близости концентраций МЭ нефтей кальдеры Узон и Двухлагерной площади (коэффициент корреляции r = 0,91), выявляется высокая корреляция составов МЭ для таких пространственно разнесенных площадей как Изменная, Лиманская и Богачевская (естественный выход) [21].

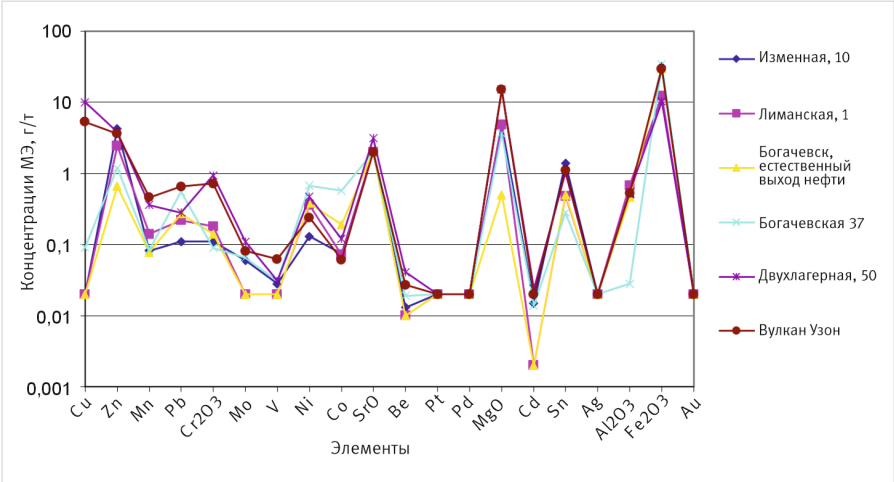

Рис. 4. Изменение концентраций элементов в нефтях Камчатки и нефтепроявлении кальдеры вулкана Узон
Fig. 4. Changes in the concentrations of elements in Kamchatka oils and the oil show of the Uzon volcano caldera

В таблице 3 отражена связь концентраций МЭ в рассматриваемых нефтях Камчатки с составом некоторых типов пород. Аналогичные расчеты показали информативность такого рода подхода для установления характера зависимости средних составов нефтей и для выявления источников МЭ в нефтях.

Несмотря на большой разброс величин коэффициентов корреляции для разных опробований, ряд общих тенденций выявляются достаточно определенно. Как и для других рассмотренных типов нефтей [21], наблюдается достаточно высокая связь со средним составом нефтей (0,57) и биоты (0,48) и низкая (на уровне 30% и ниже) с другими каустобиолитами (горючими и черными сланцами, углями) и с глинами. Однако, в отличие от ранее проанализированных палеозойских нефтей Ромашкинской группы месторождений Волго-Урала и юрско-меловых нефтей Шаимского региона Западной Сибири выше оказалась корреляция МЭ состава нефтей Камчатки с МЭ составом верхней коры, а не нижней.

МЭ состав естественных термальных выходов, водоемов и поровых растворов кальдеры вулкана Узон проанализирован по данным [16]. Пробы термальных источников сильно различаются по температуре и параметрам Eh-pH: окислительно-восстановительный потенциал изменяется от — 60 до 750 мВ,

Табл. 2. Коэффициенты корреляции между содержаниями МЭ в нефтях Камчатки
Tab. 2. Correlation coefficients between the TE contents in Kamchatka oils

Нефти площадей	Изменная, скв. 10	Лиманская, скв. 1	Богачевская естест. выход	Богачевская, скв. 37	Двухлагерная, скв. 50	Кальдера Узон
Изменная, скв. 10	1	0,88	0,85	0,77	0,53	0,62
Лиманская, скв. 1	–	1	0,97	0,78	0,67	0,71
Богачевская, естественный выход	–	–	1	0,80	0,61	0,65
Богачевская, скв. 37	–	–	–	1	0,67	0,74
Двухлагерная, скв. 50	–	–	–	–	1	0,91
Кальдера вулкана Узон	–	–	–	–	–	1

Примечание. Прочерк в таблице отвечает симметричным значениям коэффициентов корреляции.

Табл. 3. Коэффициенты корреляции между содержаниями МЭ в нефтях Камчатки с составом типичных каустобиолитов и основных потенциальных источников МЭ в нефтях
Tab. 3. Correlation coefficients between TE contents in Kamchatka oils with the composition of typical caustobioliths and the main potential sources of TE in oils

Нефти площадей	Биота	Верхняя кора	Нижняя кора	Глины	Горючие сланцы	Черные сланцы	Угли	Усредн. нефть
Изменная, скв. 10	0,50	0,49	0,38	0,09	0,08	0,03	0,26	0,47
Лиманская, скв. 1	0,56	0,63	0,56	0,41	0,39	0,24	0,46	0,56
Богачевская, естественный выход	0,42	0,62	0,55	0,36	0,33	0,16	0,38	0,52
Богачевская, скв. 37	0,27	0,28	0,26	0,13	0,13	0,08	0,12	0,52
Двухлагерная, скв. 50	0,56	0,44	0,41	0,39	0,36	0,31	0,41	0,62
Кальдера Узон	0,57	0,50	0,46	0,30	0,29	0,27	0,34	0,75
Среднее значение и разброс	0,48± 0,12	0,49± 0,13	0,44 ± 0,11	0,28± 0,14	0,26± 0,13	0,18± 0,11	0,33± 0,12	0,57± 0,10

Табл. 4. Коэффициенты корреляции между содержаниями МЭ в источниках и водоемах кальдеры Узон
Tab. 4. Correlation coefficients between the contents of TE in springs and reservoirs of the Uzon caldera

Источники и водоемы	Скв. 1	Ист. Термофильный	Источник Парящий сапожок	ПР НП	Источник Ящерица	Озеро ОТП	Озеро Банное	Озеро Восьмерка
Скв. 1	1	0,93/44*	0,94/44	0,90/44	0,93/43	0,91/44	0,91/44	0,87/44
Источник Термофильный	–	1	0,97/44	0,98/44	0,94/43	0,95/44	0,97/44	0,88/44
Источник Парящий сапожок	–	–	1	0,96/44	0,96/43	0,96/44	0,98/44	0,90/44
ПР НП	–	–	–	1	0,95/43	0,96/44	0,97/44	0,91/44
Источник Ящерица	–	–	–	–	1	0,95/43	0,96/43	0,94/43
Озеро ОТП	–	–	–	–	–	1	0,96/44	0,95/44
Озеро Банное	–	–	–	–	–	–	1	0,90/44
Озеро Восьмерка	–	–	–	–	–	–	–	1

Примечания. ПР НП — поровые растворы нефтяной площадки; ОТП — Оранжевое термальное поле; * — через черточку даны значения коэффициента корреляции и число элементов, использованных при расчете.

а водородный показатель — от 2,2 до 8,5; соответственно, можно ожидать, что и концентрации растворенных в водах МЭ будут существенно различаться (табл. 4). Однако коэффициенты корреляции между МЭ составами разных проб оказались весьма высокими — они редко опускаются до величин менее 0,8, при типичных значениях 0,90–0,96. Высокие значения коэффициентов корреляции указывают на относительно незначительное разубоживание горячих с высокой концентрацией растворенных компонент подземных вод поверхностными. Наименьшие значения коэффициентов корреляции присущи водам озера Восьмерка, где температура воды на поверхности не превышает 14°С, и где в наибольшей степени происходит смешение гидротермальных вод с поверхностными, несущими свой МЭ состав и понижающими температуру. На основании близости соотношений концентрации МЭ в разных пробах вод кальдеры Узона можно сделать вывод о доминировании в их МЭ составе единого источника МЭ, связанного с их гидротермальным происхождением.

Геохимические исследования и анализ МЭ состава нефтей Камчатки указывают на тесную связь специфики этих нефтей с более напряженным температурным режимом региона. При общем единообразии нефтей Камчатки намечается определенное отличие нефтей из осадочных бассейнов Камчатки и нефтей кальдеры вулкана Узон и примыкающей к ней зоны высокой вулканотектонической активности. Исследование тесноты связи содержания МЭ в различных нефтях Камчатки позволило выделить два их подтипа, из которых первый представлен нефтями разных осадочных бассейнов Камчатки и Чукотки (площади Изменная, Лиманская и Богачевская), а второй — нефтями кальдеры вулкана Узон и ближайшей к ней нефти площади Двухлагерная (расположенной при этом вблизи от активной разломной зоны). В целом, характерной особенностью

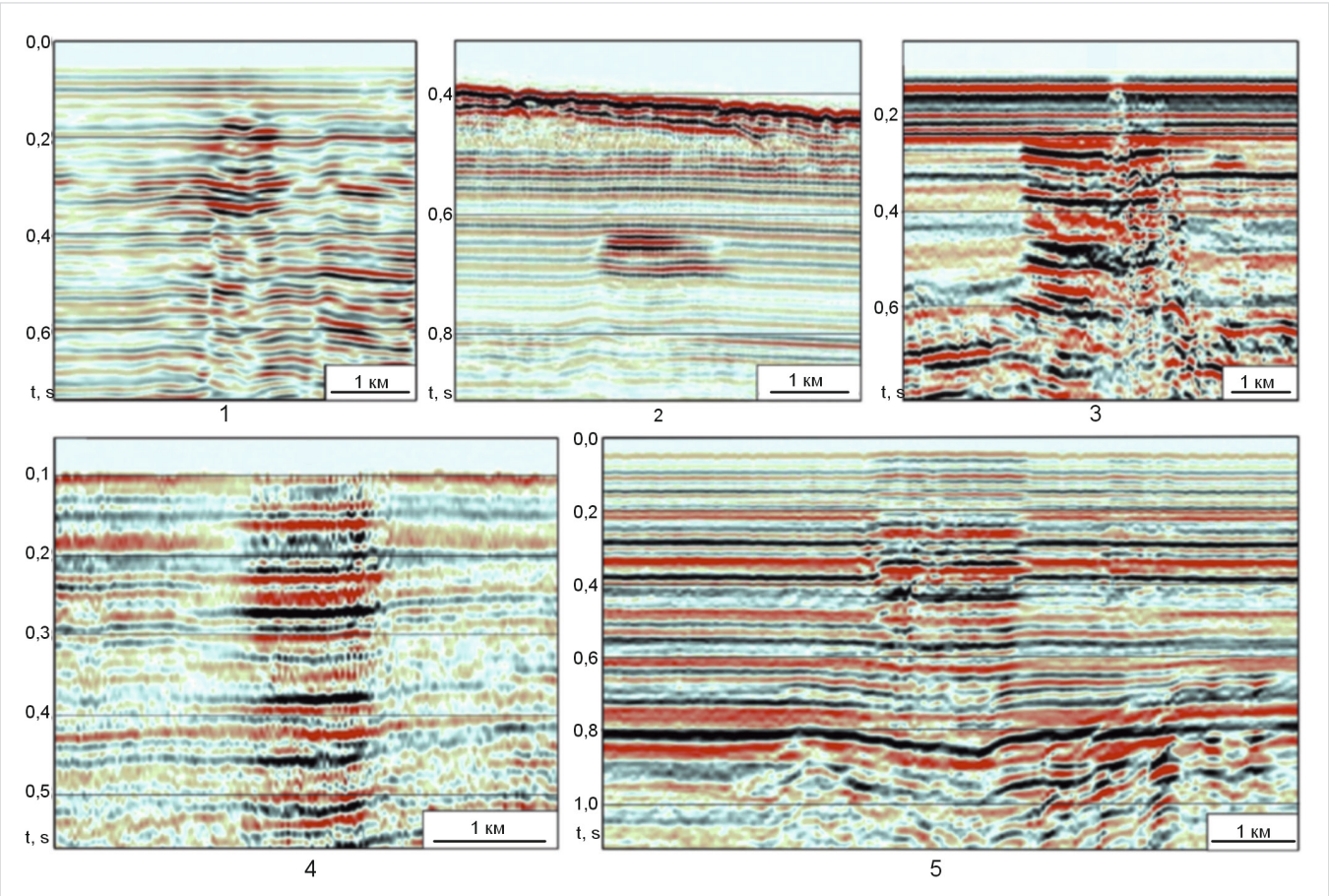

Рис. 5. Фрагменты временных разрезов с потенциально газонасыщенными объектами в морях Лаптевых (1), Восточно-Сибирском (2), Чукотском (3), Бофорта (4) и Беринговом (5) [21]
Fig. 5. Fragments of seismic sections with potentially gas-saturated objects in the Laptev (1), East Siberian (2), Chukchi (3), Beaufort (4) and Bering (5) seas [21]

всех нефтей Камчатки по результатам опробования разных авторов, в отличие от нефтей других исследованных нами НГБ, является более тесная близость МЭ состава нефтей к составу верхней континентальной коры, а не нижней. Такая зависимость подкрепляется тем, что все пробы термальных вод кальдеры Узона также указывают на более тесную связь их МЭ состава с составом верхней или средней, но не нижней континентальной коры. Отсюда, в согласии с известными классификациями камчатских нефтей, можно предположить их образование в осадочных горизонтах на основе ОВ и восходящих потоков субвулканических флюидов. При этом, в связи с большим, чем обычно разогревом недр Камчатки, отделение флюидов и процесс образования собственно нефти происходят на меньших глубинах, на что и указывает более тесная связь МЭ состава нефтей Камчатки с верхней корой. Можно предположить, что выявленные особенности процессов нафтидогенеза на Камчатке связаны с более высокими значениями глубинных температур, в результате чего формирование восходящих потоков глубинных флюидов происходит на меньших глубинах; соответственно их МЭ состав отражает химический состав менее глубоких горизонтов земной коры.

Данные по МЭ составу нафтидов Камчатки (бассейновых нефтей и нефтей кальдеры вулкана Узон) и термальных вод кальдеры Узон не противоречат выводам многих исследователей, сделанных на основе биомаркерных УВ показателей о раннекатагенетическом онтогенезе УВ скоплений Камчатки.

Вулканизм и исследование арктических морей

В последнее время проблема грязевого вулканизма и связанной с ним дегазации получила важный новый импульс в связи с исследованиями Арктики [3, 22, 23]. В этих исследованиях получена новая информация о газодинамических механизмах опасных процессов в Арктике в связи с выбросами пластовых флюидов и брекчии аналогично обычному грязевому вулканизму. На основе всесторонних исследований, а также сведений о ранее открытых проявлениях грязевого вулканизма на суше Аляски, Гренландии и Исландии, а также на дне морей Бофорта, Норвежского, Баренцева и Карского и проявлений грязевого вулканизма на Севере Западной Сибири, авторы утверждают, что по совокупности ряда признаков обнаруженные объекты в Циркумарктическом мегарегионе с высоким уровнем вероятности могут являться активными грязевыми вулканами [3].

Примеры временных разрезов с потенциально газонасыщенными объектами в различных арктических регионах показаны на рисунке 5. Большой объем исследований был проведен авторами по морю Лаптевых [22].

Близкий характер временных разрезов, а также близкие величины распределения потенциально газонасыщенных объектов в верхних частях разреза по горизонтальным размерам и по глубинам верхних границ в морях Бофорта и Чукотском, как считают исследователи [23], указывают на общие закономерности генерации, миграции, аккумуляции УВ в верхних частях осадочного разреза, а также на близкие литологические характеристики природных резервуаров, что обусловлено единой историей геологического развития Северной Аляски и прилегающего шельфа.

Итоги

В работе обобщены данные о составе МЭ нафтидов регионов, связанных с вулканической деятельностью — продукты деятельности грязевых вулканов и нефтей месторождений западного борта Южно-Каспийской впадины и нефтей осадочных бассейнов Камчатки, нефтяных выходов кальдеры вулкана Узон, термальных источников и озер кальдеры. Установлена при этом генетическая близость геохимических показателей нефтей и нефтепроявлений грязевого вулканизма, а также нафтидов и термальных вод регионов. Приводятся данные о распространении грязевого вулканизма в арктическом шельфе регионов Сибири.

Выводы

Подтверждена эффективность использования данных о МЭ составе нафтидов и необходимость изучения процессов вулканизма для развития приоритетных направлений поисков УВ скоплений в регионах гидротермальной активности, на больших глубинах и в арктическом секторе России. Проявления грязевого вулканизма, обнаруженные в арктических регионах, повышают прогноз и поиск скоплений УВ в глубоких горизонтах осадочного чехла, при этом, нефтяных скоплений с возможным накоплением в них редких и благородных металлов, связанных с глубинными процессами.

Литература

1. Каграманов К.Н., Насибова Г.Д., Бабаева М.Т. Грязевые вулканы и их роль в оценке перспектив нефтегазоносности осадочного бассейна // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2023. № 2. С. 66–73.
2. Холодов В.Н. Грязевые вулканы: распространение и генезис // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2012. № 4. С. 1–27.
3. Богоявленский В.И., Никонов Р.А., Богоявленский И.В. Новые данные об интенсивной дегазации Земли в Арктике на севере Западной Сибири: термокарстовые озера с кратерами выбросов газа и грязевыми вулканами // Арктика: экология и экономика. 2023. Т. 13. № 3. С. 353–368.
4. Алиев А.И. Грязевые вулканы — очаги периодической газогидродинамической разгрузки быстропогружающихся осадочных бассейнов и важные критерии прогноза газоносности больших глубин // Геология нефти и газа. 2006. № 5. С. 26–32.
5. Гулиев И.С., Керимов В.Ю., Осипов А.В., Мустаев Р.Н. Генерация и аккумуляция углеводородов в условиях больших глубин земной коры // SOCAR Proceedings. 2017. № 1. С. 4–16.
6. Гусейнов Д.А. Зрелость углеводородных флюидов и глубинно-стратиграфическая приуроченность очагов флюидогенерации в Южно-Каспийском бассейне // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 2012. № 4. С. 11–21.
7. Юсубов Н.П., Гулиев И.С. Грязевой вулканизм и углеводородные системы Южно-Каспийской впадины (по новейшим данным геофизических и геохимических исследований). Баку: Элм, 2022, 168 с.
8. Виноградова Т.Л., Пунанова С.А. Углеводородные системы ранней генерации. Особенности состава и геолого-геохимические закономерности формирования. Saarbruchen: Lambert Academic Publishing, 2012. 244 с.
9. Маслов А.В., Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Бычков А.Ю. Биофильные микроэлементы и углерод в сопочных илах грязевых вулканов Северо-Западного Кавказа // Геология и геофизика Юга России. 2024. Т. 14. № 1. С. 6–18.
10. Пунанова С.А., Гусейнов Д.А., Мартынова Г.С., Нанаджанова Р.Г. Геохимические особенности нефтей и нефтепроявлений грязевых вулканов западного борта Южно-Каспийской впадины // Геология нефти и газа. 2023. № 6. С. 97–106.
11. Пунанова С.А. К вопросу о прогнозе геохимических свойств нафтидов в доюрских отложениях северных территорий Западной Сибири // Экспозиция Нефть Газ. 2025. № 4. С. 36–40.
12. Лаврушин В.Ю., Гулиев И.С., Киквадзе О.Е., Алиев А.А., Покровский Б.Г., Поляк Б.Г. Воды грязевых вулканов Азербайджана: изотопно-геохимические особенности и условия формирования // Литология и полезные ископаемые. 2015. № 1. С. 3–29.
13. Родкин М.В., Пунанова С.А. Корреляционные зависимости микроэлементного состава природных объектов // Геология нефти и газа. 2022. № 4. С. 99–107.
14. Simoneit B.R.T., Deamer D.W., Kompanichenko V. Characterization of hydrothermally generated oil from the Uzon caldera, Kamchatka. Applied Geochemistry, 2009, Vol. 24, issue 2, P. 303–309. (In Eng).
15. Фурсенко Е.А., Каширцев В.А., Конторович А.Э., Фомин А.Н. Геохимия нафтидов из локализованных на суше гидротермальных источников и вопросы их генезиса (Узон, Йеллоустоун, Новая зеландия) // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 5–6. С. 918–930.
16. Добрецов Н.Л., Лазарева Е.В., Жмодик С.М и др. Геологические, гидрогеохимические и микробиологические особенности нефтяной площадки кальдеры Узон (Камчатка) // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 1–2. С. 56–88.
17. Пунанова С.А., Виноградова Т.Л. Геохимические особенности нефтей гидротермального происхождения // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2017. № 6. С. 33–36.
18. Конторович А.Э., Бортникова С.Б., Карпов Г.А., Каширцев В.А., Костырева Е.А., Фомин А.Н. Кальдера вулкана Узон (Камчатка) — уникальная природная лаборатория современного нафтидогенеза // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 8. С. 986–990.
19. Кудрявцева Е.И., Якуцени С.П., Смуров Л.Л. Металлы в нефтях Камчатки и Чукотки // ДАН. 1993. Т. 331. № 4. С. 474–479.
20. Якуцени С.П. Распространенность углеводородного сырья, обогащенного тяжелыми элементами-примесями. Оценка экологических рисков. СПб: Недра, 2005. 372 с.
21. Punanova S.A., Rodkin M.V. Comparison

of the contribution of differently depth geological processes in the formation of a trace elements characteristic of caustobiolites. Georesources, 2019, Vol. 21, issue 3, p. 14–24. (In Eng).
22. Богоявленский В.И., Кишанков А.В. Опасные газонасыщенные объекты на арктическом шельфе Восточной Сибири, Дальнего Востока (Россия) и Аляски (США) // Арктика: экология и экономика. 2024. Т. 14. № 4. С. 478–487.
23. Богоявленский В.И., Кишанков А.В. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: море Бофорта, шельф Северного склона Аляски // Арктика: экология и экономика. 2023. Т. 13. № 2. С. 201–210.

ENGLISH

Results

This paper summarizes data on the composition of the TE naphthides in regions associated with volcanic activity – products of mud volcanoes and oils from fields on the western edge of the South Caspian Basin, oils from Kamchatka sedimentary basins, oil vents from the Uzon Volcano caldera, and thermal springs and lakes within the caldera. A genetic similarity between the geochemical parameters of oils and oil seeps from mud volcanism, as well as naphthides and thermal waters in these regions, is established. Data on the distribution of mud volcanism on the Arctic shelf of Siberian regions are presented.

Conclusions

The effectiveness of using data on the TE composition of naphthides and the need to study volcanic processes for developing priority hydrocarbon accumulation exploration in regions of hydrothermal activity, at great depths, and in the Arctic sector of Russia have been confirmed. Mud volcanism discovered in Arctic regions enhances the prediction and exploration of hydrocarbon accumulations in deep horizons of the sedimentary cover, including oil accumulations with the potential for rare and precious metals associated with deep processes.

References

1. Kagramanov K.N., Nasibova G.D., Babaeva M.T. Mud volcanoes and their role in assessing the oil and gas potential of a sedimentary basin. Geology, geophysics and development of oil and gas fields, 2023, issue 2, P. 66–73. (In Russ).
2. Kholodov V.N. Mud volcanoes: distribution and genesis. Geology and mineral resources of the World Ocean, 2012, issue 4, P. 1–27. (In Russ).
3. Bogoyavlensky V.I., Nikonov R.A., Bogoyavlensky I.V. New data on intensive Earth degassing in the Arctic in the north of Western Siberia: thermokarst lakes with gas blowout craters and mud volcanoes. Arctic: Ecology and Economy, 2023, Vol. 13, issue 3, P. 353–368. (In Russ).
4. Aliyev A.I. Mud volcanoes – centers of periodic discharging of fast plunging sedimentary basins and important criteria of gas potential prognosis of large depths. Geology of oil and gas, 2006, issue 5, P. 26–32. (In Russ).
5. Guliyev I.S., Kerimov V.Yu., Osipov A.V., Mustaev R.N. Generation and accumulation of hydrocarbons in conditions of great depths of the Earth's crust. SOCAR Proceedings, 2017, issue 1, P. 4–16. (In Russ).
6. Huseynov D.A. Maturity of hydrocarbon fluids and depth-stratigraphic hotbeds of fluid generation sources in South Caspian basin. Azerbaijan Oil Industry, 2012, issue 4, P. 11–21. (In Russ).
7. Yusubov N.P., Guliev I.S. Mud volcanism and hydrocarbon systems of the South Caspian depression (according to the latest data of geophysical and geochemical studies). Baku: Elm, 2022, 168 p. (In Russ).
8. Vinogradova T.L., Punanova S.A. Early-generation hydrocarbon systems. compositional features and geological and geochemical patterns of formation. Saarbruchen: Lambert Academic Publishing, 2012, 244 p. (In Russ).
9. Maslov A.V., Starodymova D.P., Shevchenko V.P., Bychkov A.Yu. Biophilic trace elements and carbon in the silty-pelitic sediments of mud volcanoes in the Northwestern Caucasus. Geology and Geophysics of South Russia, 2024, Vol. 14, issue 1, P. 6–18. (In Russ).
10. Punanova S.A., Guseinov D.A., Martynova G.S., Nanadzhanova R.G. Mud volcanoes of western flank of south Caspian depression: geochemical features of oils and mud volcano oil shows. Geology of Oil and Gas, 2023, issue 6, P. 97–106. (In Russ).
11. Punanova S.A. On the issue of forecasting the geochemical properties of naphthides in pre-Jurassic deposits of the northern territories of Western Siberia. Exposition Oil Gas, 2025, issue 4, P. 36–40. (In Russ).
12. Lavrushin V.Yu., Guliyev I.S., Kikvadze O.E., Aliyev A.A., Pokrovsky B.G., Polyak B.G. Waters from mud volcanoes of Azerbaijan: isotopic-geochemical properties and generation environments. Lithology and useful minerals, 2015, issue 1, P. 3–29. (In Russ).
13. Rodkin M.V., Punanova S.A. Trace element composition of natural objects: correlation dependences. Oil and gas geology, 2022, issue 4, P. 99–107. (In Russ).
14. Simoneit B.R.T., Deamer D.W., Kompanichenko V. Characterization of hydrothermally generated oil from the Uzon caldera, Kamchatka. Applied Geochemistry, 2009, Vol. 24, issue 2, P. 303–309. (In Eng).
15. Fursenko E.A., Kashirtsev V.A., Kontorovich A.E., Fomin A.N. Naphthides of continental hydrotherms (Uzon, Yellowstone, New zealand): geochemistry and genesis. Geology and Geophysics, 2014, Vol. 55, issue 5-6, P. 918–930. (In Russ).
16. Dobretsov N.L., Lazareva E.V., Zhmodik S.M., et al. Geological, hydrogeochemical, and microbiological characteristics of the oil site of the Uzon caldera (Kamchatka). Geology and Geophysics, 2015, Vol. 56, issue 1–2, P. 56–88. (In Russ).
17. Punanova S.A., Vinogradova T.L. Geochemical peculiarities of hydrothermally originated oils. Geology, Geophysics, and development of oil and gas fields, 2017, issue 6, P. 33–36. (In Russ).
18. Kontorovich A.E., Bortnikova S.B., Karpov G.A., Kashirtsev V.A., Kostyreva E.A., Fomin A.N. Uzon volcano caldera (Kamchatka): a unique natural laboratory of the present-day naphthide genesis. Geology and Geophysics, 2011, Vol. 52, issue 8, P. 986–990. (In Russ).
19. Kudryavtseva E.I., Yakutseni S.P., Smurov L.L. Metals in Kamchatka and Chukotka oils. DAN, 1993, Vol. 331, issue 4, P. 474–479. (In Russ).
20. Yakutseni S.P. Prevalence of hydrocarbon raw materials enriched with heavy trace elements. Environmental Risk Assessment. St. Petersburg: Nedra, 2005, 372 p. (In Russ).
21. Punanova S.A., Rodkin M.V. Comparison of the contribution of differently depth geological processes in the formation of a trace elements characteristic of caustobiolites. Georesources, 2019, Vol. 21, issue 3, P. 14–24. (In Eng).
22. Bogoyavlensky V.I., Kishankov A. V. Dangerous gas-saturated objects on the Arctic shelf of Eastern Siberia, the Far East (Russia) and Alaska (USA). Arctic: Ecology and Economy, 2024, Vol. 14, issue 4, P. 478–487. (In Russ).
23. Bogoyavlensky V.I., Kishankov A.V. Dangerous gas-saturated objects in the World Ocean: the Beaufort Sea, Alaska North Slope shelf. Arctic: Ecology and Economy, 2023, Vol. 13, issue 2, P. 201–210. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ I INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Пунанова Светлана Александровна, д.г.-м.н., главный научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа Российской академии наук, Москва, Россия
Для контактов: s_punanova@ipng.ru

Punanova Svetlana Alexandrovna, ph.d. of geologo-mineralogical sciences, chief researcher, Oil and Gas Research Institute Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
Corresponding author: s_punanova@ipng.ru