

УДК 556.31 553.98
DOI: 10.18799/24131830/2025/7/5034
Шифр специальности ВАК: 1.6.6
Научная статья

Бензол, толуол в природных водах восточного обрамления Сибирской платформы в связи с оценкой перспектив нефтегазоносности

Д.С. Малков^{1✉}, А.И. Сурнин², Н.В. Гусева¹

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск

² Акционерное общество «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», Россия, г. Новосибирск

✉ MalkovDS@tpu.ru

Аннотация. Актуальность. Исследования нефтегазоносности восточного обрамления Сибирской платформы ведутся с начала XX в., однако до сих пор эта территория изучена крайне слабо. Основной объем работ был сосредоточен в бассейне р. Вилюй, в то время как смежные территории правобережья рек Лены и Алдан остаются заметно менее изучены. Информация о геохимии природных вод данной области в открытых источниках представлена крайне скудно, а по содержанию ряда органических соединений (бензол, толуол), применяемых как прямой поисковый показатель нефтегазоносности, и вовсе отсутствует. Выявление новых перспективных, в том числе глубокопогруженных, зон нефтегазоаккумуляции и расширение углеводородного потенциала Восточной Сибири будет способствовать развитию промышленности и достижению национальных целей по освоению территории Якутии, имеющей огромное экономическое и геополитическое значение. **Цель:** анализ распространенности бензола и толуола в природных водах восточного обрамления Сибирской платформы и обоснование их роли при оценке перспектив нефтегазоносности. **Методы.** Аналитические исследования по определению ароматических углеводородов (бензол, толуол) выполнены в испытательном лабораторном Центре гигиены и эпидемиологии в Новосибирской области на газовом хроматографе «Кристал-2000М», аккредитованном методом равновесного пара с чувствительностью 0,001 мг/л. **Результаты.** Приводится обширный фактический материал по содержанию ароматических углеводородов (бензол, толуол) в составе природных вод бассейнов рек Хамны, Аллах-Юнь, Восточной Хандыги, Томпо, Ляписке (Лямпущка) и Соболах-Маян (Собопол). Полученный первый гидрогеохимический материал во многом носит рекогносцировочный характер, однако свидетельствует о хороших перспективах нефтегазоносности изучаемой территории.

Ключевые слова: Предверхоанский прогиб, Предсеттедабанский прогиб, ароматические углеводороды, химический состав природных вод, гидрогеохимические поиски, нефтегазоносность, бензол, толуол, Сибирская платформа

Для цитирования: Малков Д.С., Сурнин А.И., Гусева Н.В. Бензол, толуол в природных водах восточного обрамления Сибирской платформы в связи с оценкой перспектив нефтегазоносности // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336. – № 7. – С. 189–196. DOI: 10.18799/24131830/2025/7/5034

UDC 556.31 553.98
DOI: 10.18799/24131830/2025/7/5034
scientific paper

Benzene and toluene in the natural waters of the eastern rim of the Siberian platform by oil and gas potential assessment

D.S. Malkov^{1✉}, A.I. Surnin², N.V. Guseva¹

¹ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

² Joint Stock Company Siberian Scientific Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russian Federation

✉ MalkovDS@tpu.ru

Abstract. Relevance. Studies of the oil and gas potential of the eastern rim of the Siberian Platform have been conducted since the beginning of the 20th century, however, so far this territory has been studied extremely poorly. The bulk of the work was concentrated in the Vilyui River basin, while the adjacent territories on the right banks of the Lena and Aldan rivers remain noticeably less studied. Information on the geochemistry of natural waters in this area is extremely sparsely presented in open sources, and the content of a number of organic compounds (benzene, toluene), used as a direct indicator of oil and gas potential, is completely absent. The identification of new promising oil and gas accumulation zones and the expansion of the hydrocarbon potential of Eastern Siberia will contribute to the development of industry and the achievement of national goals for the development of the territory of Yakutia, which is of great economic and geopolitical importance. **Aim.** To analyze benzene and toluene prevalence in the natural waters of the eastern rim of the Siberian Platform and substantiate their role in assessing oil and gas potential. **Methods.** Analytical studies on the determination of aromatic hydrocarbons (benzene, toluene) were performed at the testing laboratory center of the Center for Hygiene and Epidemiology in the Novosibirsk Region on a Crystal-2000M gas chromatograph, using an accredited equilibrium vapor method with a sensitivity of 0.001 mg/l. **Results.** The paper provides extensive factual material on the content of aromatic hydrocarbons (benzene, toluene) in the natural waters of the basins of the Hamna, Allah Yun, Vostochnaya Khandyga, Tompo, Lyapiske (Lampushka) and Sobolokh-Mayan rivers (Sobopol). The obtained first hydrogeochemical material is largely of a reconnaissance nature, however, it indicates good prospects for the oil and gas potential of the studied area.

Keywords: Predverkhoyansk foredeep, Predsettedaban foredeep, aromatic hydrocarbons, chemical composition of natural waters, hydrogeochemical prospecting, oil and gas potential, benzene, toluene, Siberian platform

For citation: Malkov D.S., Surnin A.I., Guseva N.V. Benzene and toluene in the natural waters of the eastern rim of the Siberian platform by oil and gas potential assessment. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2025, vol. 336, no. 7, pp. 189–196. DOI: 10.18799/24131830/2025/7/5034

Введение

Рассмотренная в данной работе территория охватывает восточные приграничные районы Сибирской платформы и обрамляющие ее Предверхоянский и Предсеттедабанский предгорные (краевые, перикратонные) прогибы. Активные нефтегазопромысловые работы, проводившиеся в 1950–1960 гг. в границах Виллюской синеклизы, привели к открытию нескольких газоконденсатных месторождений на левобережье р. Лены. Дальнейшее параметрическое бурение дало отрицательные результаты, что связано, прежде всего, с низким качеством сейсмического материала и низкой степенью изученности [1, 2].

Геохимические исследования по прямым признакам нефтегазоносности методом принудительной дегазации русловых отложений проводились на территории Якутии начиная с 1976 г. по методике Всесоюзного научно-исследовательского геологоразведочного нефтяного института (ВНИГРИ) и были сосредоточены, преимущественно, в бассейне р. Виллюй [3].

Вопросами информативности распределения ароматических углеводородов в приповерхностных средах занимались А.С. Зингер, Л.М. Зорькин, М.И. Суббота, А.А. Карцев, А.Р. Курчиков, Р.И. Тимшанов и ряд других исследователей [4–6].

Целенаправленных гидрогеологических исследований в описываемом районе не проводилось. В процессе геологосъемочных работ выполнялось опробование главным образом надмерзлотных и поверхностных вод. В единичных случаях опробованы межмерзлотные воды в поисково-разведочных колонковых скважинах.

Новые геологические данные, полученные в ходе сейсморазведочных работ 2010–2016 гг., существенно уточнили строение восточной периферии Сибирской платформы и в комплексе с представленными результатами гидрогеохимического опробования указывают на положительные перспективы обнаружения промышленных скоплений углеводородов, а также на необходимость наращивания объемов новых поисково-разведочных работ [7, 8]. Перспективным направлением является изучение глубокопогруженных нефтяных и газовых систем, интерес к которым в последние годы заметно усилился [9–12].

Информация о геохимии природных вод данной области в открытых источниках представлена крайне скудно, а по содержанию ряда органических соединений (бензол, толуол), применяемых как прямой поисковый показатель нефтегазоносности, и вовсе отсутствует.

Целью данного исследования является анализ распространенности бензола и толуола в природных водах восточного обрамления Сибирской платформы и обоснование их роли при оценке перспектив нефтегазоносности.

Объект и методы исследования

За пять полевых сезонов – с 2011 по 2015 гг. – было пройдено девять маршрутов по долинам шести рек в направлении с юга на север: Хамна, Аллах-Юнь, Восточная Хандыга, Томпо, Ляписке (Лямпущка) и Соболах-Маян (Собопол) (рис. 1). Проведенные исследования можно условно разбить на три этапа.

Этап 1. Исследования в зоне сопряжения восточного борта Алдано-Майской впадины и западной части Нелькано-Кыллахского надвига в Сетте-

Дабанской ветви Верхоянского складчато-надвигового пояса с гидрогеохимическим опробованием по долинам рек Аллах-Юнь (2011, 2012 гг.) и Хамна (2012, 2014 гг.). В 2012 и 2014 гг. полевые работы проводились в зимнее время с опробованием водотоков из-под льда в меженный период. Методически это обосновано возможностью обнаружения более контрастных аномалий, так как водное питание рек в этот период обеспечивается, преимущественно, за счет подземного стока.

Этап 2. Исследования в районе восточного окончания Алданской ветви Предверхоянского прогиба с выходом в зону моноклиналиного погружения мезозойских отложений с опробованием по долинам рек Томпо (2014, 2015 гг.) и Восточной Хандыги (2014 г.).

Этап 3. Исследования в пределах Ленской ветви Предверхоянского прогиба с гидрогеохимическим опробованием по долинам рек Ляписке (Лямпушка) и Соболах-Маян (Собопол) выполненные в 2015 г.

Основные характеристики исследуемых водных объектов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные характеристики исследуемых рек [13, 14]

Table 1. The main characteristics of the studied rivers [13, 14]

Река/River	Площадь водосбора, км ² Water collecting area, km ²	Длина, км Length, km	Расход воды, м ³ /с River flow, m ³ /s
р. Хамна/Hamna river	3520	222	–
р. Аллах-Юнь Allah-Yun river	24200	586	234,7 (16 км от устья/km from the river mouth)
р. В. Хандыга East Khandyga river	9950	290	27,3 (202 км от устья/km from the river mouth)
р. Томпо Tampo river	42700	570	158,6 (279 км от устья/km from the river mouth)
р. Ляписке Lapiske river	10300	299	–
р. Собопол Sobopol river	13300	411	82,1 (240 км от устья/km from the river mouth)

Помимо основного русла и притоков исследуемых рек, отбор воды осуществлялся на надпойменных террасах, на участках скрытой разгрузки подземных вод – в озерах, старицах, в основании высоких склонов бортов долин.

Пробы воды на содержание ароматических углеводородов (бензол, толуол) объемом 50 мл отбирались в толстостенные флаконы из темного стекла без консервации. Измерение концентраций анализируемых соединений выполнялось методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным

детектированием. Извлечение из воды бензола и толуола осуществлялось газовой экстракцией при нагревании в замкнутом объеме с последующим анализом равновесной паровой фазы. Аналитические работы были выполнены в «Центре гигиены и эпидемиологии» в Новосибирской области на газовом хроматографе «Кристалл-2000М» с чувствительностью 0,001 мг/л (МУК 4.1.650-96).

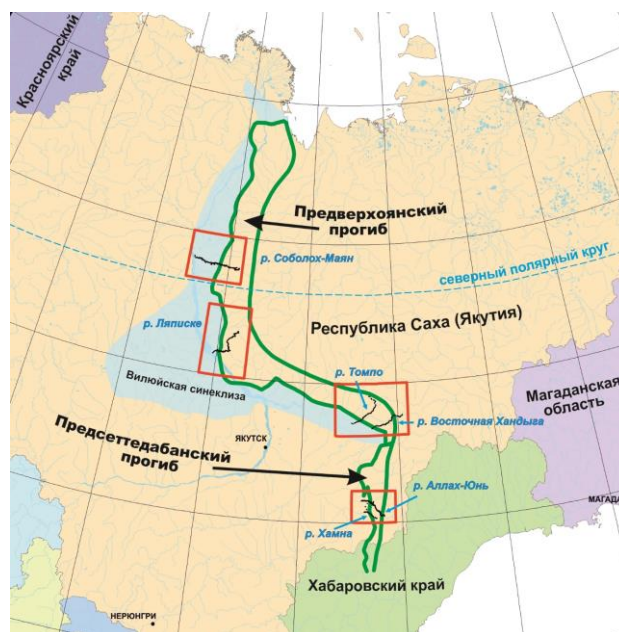


Рис. 1. Обзорная схема района исследований
Fig. 1. Overview scheme of the research area

Результаты исследования и их обсуждение

Химический состав природных вод восточного обрамления Сибирской платформы разнообразен. Величина pH изменяется от 5,5 до 8,4 при среднем значении 7,2. Окислительно-восстановительный потенциал находится в пределах от 28 до 292 мВ. Общая минерализация изученных вод, как правило, не превышает 200 мг/л, а ионный состав вод представлен Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- и SO_4^{2-} . Однако в долинах рек Ляписке и Соболах-Маян были опробованы нетипичные для данной территории воды хлоридного натриевого и гидрокарбонатного натриевого состава [15, 16].

В рамках работ 2011 г. была исследована долина р. Аллах-Юнь. Из 45 проб, отобранных на исследование ароматических углеводородов, бензол был обнаружен в 29 (64 %), а толуол – в 35 (78 %) от общего числа изученных образцов. Наиболее высокие содержания бензола (0,073–0,12 мг/л) и толуола (0,054–0,069 мг/л) отмечены в точках наблюдения, расположенных несколько западнее Нельканского разлома – в наиболее погруженной части Предсетедабанского прогиба. Средние значения бензола и

толуола в воде, без учета «пустых» проб, где исследуемые компоненты не были выявлены в концентрациях выше предела чувствительности используемого аналитического метода (0,001 мг/л), составили 0,022 и 0,013 мг/л соответственно (табл. 2).

В результате повторных исследований в зимний меженный период в марте 2012 г. установлено, что общая минерализация вод р. Аллах-Юнь выросла в среднем в 2,5 раза (табл. 2), что обусловлено питанием реки преимущественно за счет подземного стока. По данным [13] расчетное распределение месячного стока в марте составляет только 0,01 % от годового. Однако принципиальных изменений химического типа воды не наблюдается: рассматриваемые воды являются гидрокарбонатными кальциевыми, магниевыми-кальциевыми.

Минерализация природных вод бассейна реки Хамны, опробованных также в зимний меженный период в 2012 г., значительно ниже, чем в р. Аллах-Юнь, и составляет 113 мг/л. Это объяснимо существенно меньшей площадью ее водосбора. В ионном составе увеличивается доля иона хлора – до 9 %-экв. (против 3 %-экв. в р. Аллах-Юнь), а в некоторых точках превышает 15 %-экв. Это может быть обусловлено поступлением указанного иона в реки за счет восходящей глубинной разгрузки подземных вод по дизъюнктивным нарушениям.

В водах р. Хамны, опробованных в зимний период, в отдельных точках отмечаются ураганные содержания бензола и толуола – до 0,30 и 0,23 мг/л, соответственно. Ввиду отсутствия антропогенных источников поступления указанных компонентов в рассматриваемом районе такие высокие концентрации ароматических углеводородов в водах исследуемых объектов можно рассматривать в качестве прямых показателей нефтегазоносности.

Заверочный полевой маршрут зимнего сезона 2014 г. в объеме 30 проб подтвердил высокие концентрации ароматических углеводородов в природных водах бассейна р. Хамны. Максимальные содержания бензола и толуола составили 0,23 и 0,31 мг/л при средних значениях 0,028 и 0,025 мг/л, соответственно.

Полевыми маршрутами 2014 г. были исследованы бассейны рек Восточной Хандыги и Томпо. Содержание бензола во всех пробах – ниже предела обнаружения метода – 0,001 мг/л, хотя вследствие более простого строения молекулы и лучшей растворимости в воде (1,79 против 0,53 г/л для толуола) он обладает большей миграционной способностью, чем толуол. Однако температура плавления бензола составляет +5,5 °С, соответственно в условиях отрицательных температур бензол кристаллизуется и его проникновение в поверхностные воды может быть затруднено. Таким образом, толща многолетнемерзлых пород (ММП), мощность которой в исследуемом районе достигает нескольких сот метров, может являться своеобразной непроницаемой крышкой для бензола. Толуол остается подвижным в более широком диапазоне температур и хорошо мигрирует в подземных водах криолитозоны. Его концентрации в водах исследуемого района достигают значений до 0,6 мг/л. Полное отсутствие в водах бензола говорит в пользу глубинного источника поступления толуола в поверхностные воды. Особенно контрастно выглядит аномалия толуола, выявленная в районе Томпурокской антиклинали в нижнем течении р. Томпо. Во всех пробах воды, отобранных на 10-километровом участке реки после ее пересечения Томпурокской структуры, выявленной по данным гравиметрической съемки, отмечаются аномальные содержания толуола – от 0,07 до 0,6 мг/л (рис. 2).

Таблица 2. Содержания ароматических углеводородов

Table 2. Content of aromatic hydrocarbons

Объект Object	Год Year	Кол-во проб Quantity of samples	Мощн TDS	Бензол/Benzene			Толуол/Toluene		
				%	мг/л/mg/l		%	мг/л/mg/l	
				>0,001 mg/l	Сред/Avg	Max	>0,001 mg/l	Сред/Avg	Max
бассейн р. Аллах-Юнь Allah-Yun river basin	2011	45	106,8	64	0,022	0,120	78	0,013	0,069
	2012	29	269,9	41	0,008	0,028	45	0,014	0,048
бассейн р. Хамны Hamna river basin	2014	10	113,0	30	0,145	0,300	50	0,085	0,230
		30	123,5	37	0,028	0,230	60	0,025	0,310
бассейн р. В. Хандыги East Khandyga river basin	2014	53	136,7	0	–	–	8	0,005	0,011
бассейн р. Томпо Tompo river basin	2015	64	85,8	0	–	–	11	0,156	0,600
		30	118,0	0	–	–	53	0,006	0,017
бассейн р. Ляписке Lapiske river basin	2015	128	64,3	0	–	–	16	0,004	0,016
бассейн р. Собопол Sobopol river basin		169	117,2	9	0,007	0,024	40	0,013	0,070
Итого проб воды Total water samples		558	–	13	–	–	35	–	–

Примечание: Проценты указывают долю проб с содержанием бензола/толуола >0,001 мг/л, цветом выделены объекты, опробованные в период зимней межени.

Note: Percentages show the proportion of samples with a benzene/toluene content >0.001 mg/l, the objects tested during the winter low water period are highlighted in color.

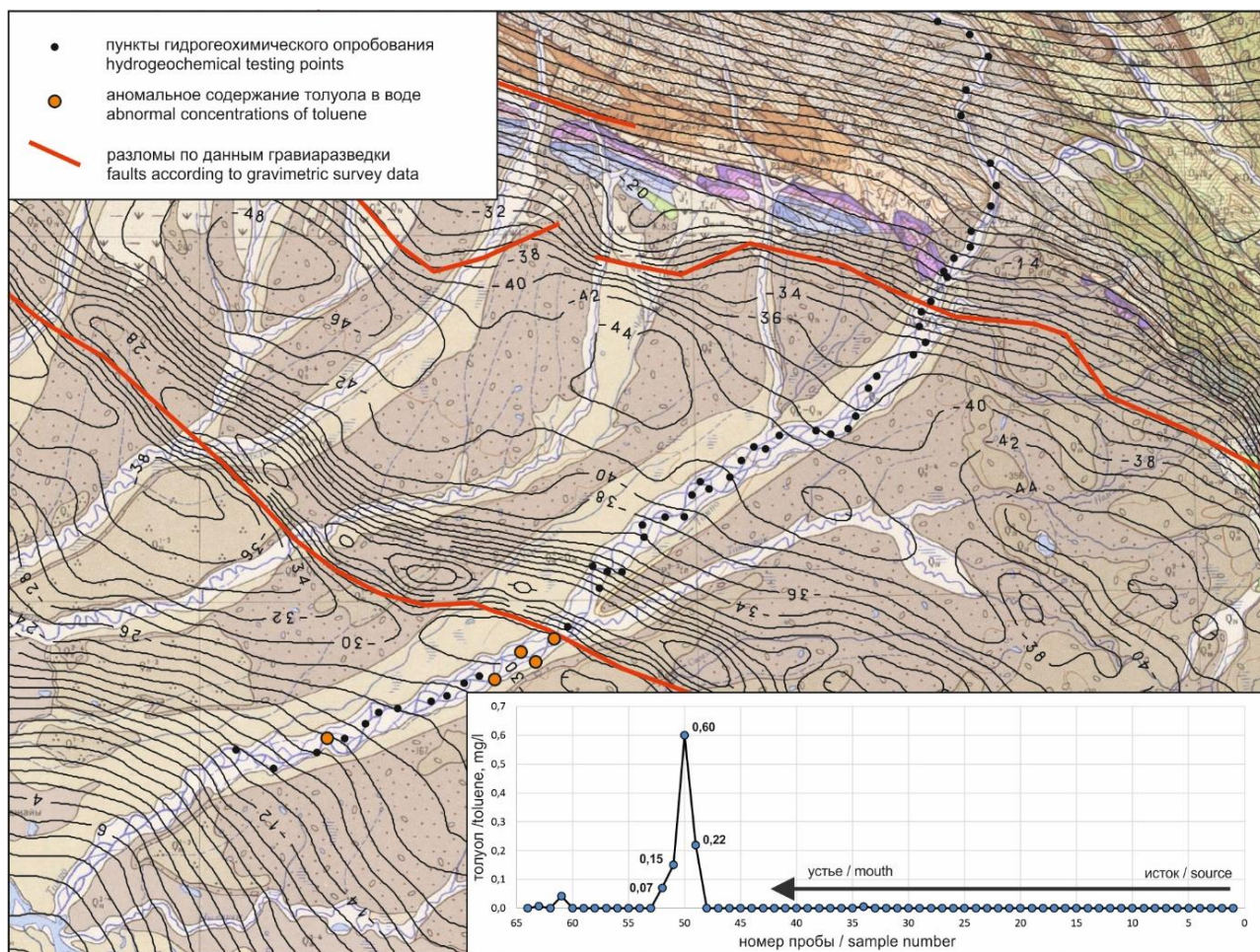


Рис. 2. Содержание толуола в природных водах бассейна р. Томпо
Fig. 2. Toluene content in the natural waters of the Tompo river basin

Поисковое значение этого показателя подтверждают данные колонкового бурения на Томпурской площади, где в керне обнаружены капельные выделения битумов.

В 2015 г. были исследованы долины рек Ляписке (Лямпущка) и Соболох-Маян (Собопол). Полученный аналитический материал показал присутствие высоких концентраций ароматических углеводородов (бензола и толуола) в природных водах. Содержания толуола более 0,001 мг/л были определены в 40 % проб, отобранных в бассейне р. Собопол, и в 18 % проб в бассейне р. Ляписке. Высокие концентрации толуола (>0,01 мг/л) были выявлены в двадцати шести пробах и отмечены практически на всех участках маршрута по р. Соболох-Маян. Бензол с концентрацией более 0,01 мг/л был выявлен только в трех пробах воды на участках совместного проявления бензола и толуола в зоне Орулганского надвига и на моноклинали внешнего борта прогиба также в бассейне р. Соболох-Маян. Вероятно, это связано с наличием проницаемых для бензола каналов – таликовых зон, сформированных плотным тепловым потоком над активными

разломами. По таким ослабленным тектоническим зонам в результате диффузионно-фильтрационного массопереноса может осуществляться субвертикальная миграция углеводородов из залежей, формируя в приповерхностных средах поля аномальных концентраций, что и лежит в основе геохимических методов поиска углеводородных скоплений. Кроме этого, подтверждением современных процессов глубинной восходящей разгрузки подземных вод на изученной территории является выявленный аномальный ионный состав речных вод – хлоридный натриевый и гидрокарбонатный натриевый в пределах долин рек Ляписке и Соболох-Маян [15, 16].

Заключение

В результате исследований установлена распространенность бензола и толуола в природных водах восточной периферии Сибирской платформы. Толуол в значительных концентрациях был обнаружен во всех без исключения опробуемых объектах (32 % исследуемых проб), в то время как бензол только в 12 % проб. Полное отсутствие бензола

(<0,001 мг/л) отмечается во всех пробах природных вод бассейнов рек Восточной Хандыги, Томпо и Ляписке, что, возможно, связано с затруднениями его миграции в приповерхностные среды, вероятно, из-за наличия мощной толщи ММП. Совместные проявления бензола и толуола отмечены при опробовании южных территорий (бассейны рек Аллах-Юнь и Хамны), где мощность ММП ниже и за счет плотного теплового потока над активными разломами могут быть сформированы сквозные таликовые зоны.

Наиболее высокие концентрации бензола были получены при опробовании бассейна р. Хамны в период зимней межени (до 0,3 мг/л при среднем содержании 0,145 мг/л). Наиболее высокие концентрации толуола (до 0,6 мг/л при среднем содержании 0,156 мг/л) отмечены в пробах из р. Томпо после ее пересечения надвиговой структуры Томпурского вала. Полученные в ходе гидрогеохимических

работ результаты указывают на положительные перспективы нефтегазоносности территории восточного обрамления Сибирской платформы.

Эффективность применения геохимических методов поисков углеводородов, основанных на распределении в поверхностных средах повышенных концентраций ароматических углеводородов, отмечается многими российскими и зарубежными авторами [17–21]. Повышенное содержание в водах бензола и его гомологов является одним из наиболее показательных поисковых критериев.

К неоспоримым преимуществам гидрогеохимического опробования по поверхностным водотокам можно отнести дешевизну и высокую скорость проведения работ. На основе представленного опыта рекомендуется шире применять эти методы для опережающей рекогносцировочной оценки малоизученных территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Oil and gas potential of the Siberian Platform / A.E. Kontorovich, K.K. Makarov, N.V. Melnikov V.E. Savitsky, V.S. Staroseltsev, V.S. Surkov, K.R. Chepikov // World Petroleum Congress Proceedings 10. – Bucharest, 09–14 September 1979. – P. 183–189.
2. Мигурский Ф.А., Якупова Е.М. Обоснование региональных исследований нефтегазоносности Предверхоанского перикратонного прогиба // Геология нефти и газа. – 2017. – № 3. – С. 18–25.
3. Сивцев А.И., Калинин А.И. Прямые геохимические исследования в Вилюйской синеклизе // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Науки о Земле. – 2024. – № 2 (34). – С. 13–24. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-2-13-24.
4. Курчиков А.Р., Тимшанов Р.И. Связь полей распределения содержания бензола и толуола в подпочвенных глинах с нефтеносностью отложений (на примере месторождений юга Западной Сибири) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2012. – № 10. – С. 10–18.
5. Жильцова А.А., Коржов Ю.В., Исаев В.И. Геохимическое прогнозирование залежей нефти по аномалиям ароматических углеводородов // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 1. – С. 18–20.
6. Kharaka Y., Hitchon B., Hanor J. Groundwater and petroleum. – Ontario: Groundwater project, 2024. – 372 p
7. Перспективы нефтегазоносных территорий восточного обрамления Сибирской платформы по материалам геологоразведочных работ последних лет / А.В. Погодаев, Р.Ф. Севостьянова, М.И. Слепцова, А.М. Жарков, К.А. Павлова // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Науки о Земле. – 2024. – № 4 (36). – С. 33–48. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-33-48.
8. Щепелин М.А., Делиу Е.А., Хуснулина Г.Р. Геологическое строение и перспективы открытия месторождения в южной части Предверхоанской нефтегазоносной области (республика Саха (Якутия)) // Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности. – М., 17–19 октября 2022. – М.: ИПНГ РАН, 2022. – С. 380–383.
9. Deep-buried Lower Paleozoic oil and gas systems in eastern Siberian Platform: geological and geophysical characteristics, estimation of hydrocarbon resources / A.E. Kontorovich, L.M. Burshtein, I.A. Gubin, T.M. Parfenova, P.I. Safronov // Journal of Mining Institute. – 2024. – Vol. 269. – P. 721–737.
10. Guangyou Z., Milkov A., Zhiyao Z. Formation and preservation of a giant petroleum accumulation in superdeep carbonate reservoirs in the southern Halahatang oil field area, Tarim Basin, China // The American Association of Petroleum Geologists Bulletin. – 2019. – Vol. 103. – № 7. – P. 1703–1743. DOI: 10.1306/11211817132
11. Guangyou Z., Zhiyao Z., Xiaoxiao Z. Preservation of ultra-deep liquid oil and its exploration limit // Energy & Fuels. – 2018. – Vol. – 32. – № 11. – P. 11165–11176. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.8b01949
12. Bin C., Hua L., Zicheng C. Origin of deep oil accumulations in carbonate reservoirs within the north Tarim Basin: Insights from molecular and isotopic compositions // Organic Geochemistry. – 2020. – Vol. 139. – № 103931. DOI: 10.1016/j.orggeochem.2019.103931
13. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 17. Ленско-Индигоирский район. Вып. 5. Нижняя Лена (бассейн р. Лены ниже устья р. Вилюй) / под ред. А.С. Шароглазова. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 120 с.
14. Ресурсы поверхностных вод СССР: гидрологическая изученность. Т. 17. Ленско-Индигоирский район. Вып. 3. Бассейн р. Алдан / под ред. И.В. Осиповой. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 210 с.
15. Малков Д.С., Сурнин А.И., Гусева Н.В. Химический состав природных вод восточного обрамления Сибирской платформы (Предверхоанский прогиб) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 11. – С. 197–209. DOI: 10.18799/24131830/2024/11/4564
16. Малков Д.С. Химический состав воды озера Куолланда-Кюэль (Предверхоанский прогиб, Якутия) // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XXVII Международного молодежного научного симпозиума имени академика М.А. Усова. –

Томск, 03–07 апреля 2023. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2023. – С. 154–155.

17. Potential petroleum prospects in the middle Benue trough, central Nigeria: inferences from integrated applications of geological, geophysical and geochemical studies / U.A. Lar, T. Bata, H. Dibal, S.N. Yusuf, I. Lekmanga, M. Goyit, E. Yennea // *Scientific African*. – 2022. – Vol. 19. DOI: 10.1016/j.sciaf.2022.e01436.
18. Chongxi L., Xueming W. Near surface hydrogeochemical exploration for oil and gas in China // *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*. – 1991. – Vol 5. – № 1–4. – P. 313–316.
19. Philp R.P., Crisp P.T. Surface geochemical methods used for oil and gas prospecting — a review // *Journal of Geochemical Exploration*. – 1982. – Vol. 17. – № 1. – P. 1–34.
20. Gene Collins A. Geochemical methods of exploration for petroleum and natural gas // *Developments in Petroleum Science*. – 1975. – Vol. 1. – P. 307–341. doi:10.1016/S0376-7361(08)70203-6
21. Novikov D.A. Hydrogeochemistry of the Arctic areas of Siberian petroleum basins // *Petroleum Exploration and Development*. – 2017. – Vol. 44. – № 5. – P. 737–744.

Информация об авторах

Денис Сергеевич Малков, аспирант отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; MalkovDS@tpu.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9614-7506>

Алексей Иванович Сурнин, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией гидрогеологии нефтегазоносных провинций Акционерного общества «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», Россия, 630091, г. Новосибирск, Красный пр., 67. SurninAI@rusgeology.ru

Наталья Владимировна Гусева, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заместитель директора по научно-образовательной деятельности Инженерной школы природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; GusevaNV@tpu.ru

Поступила в редакцию: 26.02.2025

Поступила после рецензирования: 26.05.2025

Принята к публикации: 16.06.2025

REFERENCES

1. Kontorovich A.E., Makarov K.K., Melnikov N.V., Savitsky V.E., Staroseltsev V.S., Surkov V.S., Trofimuk A.A., Chepikov K.R. Oil and gas potential of the Siberian Platform. *World Petroleum Congress Proceedings*. Bucharest, Romania, September 9–14, 1979. pp. 183–189.
2. Migursky F.A., Yakupova E.M. Feasibility of regional studies of oil and gas potential of the Predverkhoyansk pericratonic foredeep. *Geology of oil and gas*, 2017, no. 3, pp. 18–25. (In Russ.)
3. Sivtsev A.I., Kalinin A.I. Direct geochemical studies in the Vilyui syncline. *Vestnik of North-Eastern Federal University Series "Earth Sciences"*, 2024, no. 2 (34), pp. 13–24. (In Russ.) DOI: 10.25587/2587-8751-2024-2-13-24
4. Kurchikov A.R., Timshanov R.I. Relation of benzol and toluol distribution fields in subsoil clays with oil-bearing rocks (on the example of the deposits at the south of west siberia). *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2012, no. 10, pp. 10–18. (In Russ.)
5. Zhiltsova A.A., Korzhov J.V., Isaev V.I. Geochemical prediction of deposits of oil on anomalies of aromatic hydrocarbons. *Prospect and protection of mineral resources*, 2011, no. 1, pp. 18–20. (In Russ.)
6. Kharaka Y., Hitchon B., Hanor J. *Groundwater and petroleum*. Ontario, Groundwater project, 2024. 372 p.
7. Pogodaev A.V., Sevostianova R.F., Sleptsova M.I., Zharkov A.M., Pavlova K.A. Oil and gas perspective of the eastern border of the Siberian platform based on recent exploration data. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences*, 2024, no. 4 (3b), pp. 33–48. (In Russ.) DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-33-48.
8. Shchepelin M.A., Deliu E.A., Khusnullina G.R. Geological structure and prospects of field discovery in the southern part of the Predverkhoyansk oil and gas region (Republic of Sakha (Yakutia)). *Fundamental basis of innovative technologies of the oil and gas industry*. Moscow, October 17–19, 2022. Moscow, IPNG RAS Publ., 2022. pp. 380–383. (In Russ.)
9. Kontorovich A.E., Burshtein L.M., Gubin I.A., Parfenova T.M., Safronov P.I. Deep-buried Lower Paleozoic oil and gas systems in eastern Siberian Platform: geological and geophysical characteristics, estimation of hydrocarbon resources. *Journal of Mining Institute*, 2024, vol. 269, pp. 721–737.
10. Guangyou Z., Milkov A., Zhiyao Z. Formation and preservation of a giant petroleum accumulation in superdeep carbonate reservoirs in the southern Halahatang oil field area, Tarim Basin, China. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 2019, vol. 103, no. 7, pp. 1703–1743. DOI: 10.1306/11211817132
11. Guangyou Z., Zhiyao Z., Xiaoxiao Z. Preservation of ultradeep liquid oil and its exploration limit. *Energy & Fuels*, 2018, vol. 32, no. 11, pp. 11165–11176. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.8b01949
12. Bin C., Hua L., Zicheng C. Origin of deep oil accumulations in carbonate reservoirs within the north Tarim Basin: insights from molecular and isotopic compositions. *Organic Geochemistry*, 2020, vol. 139, no. 103931. DOI: 10.1016/j.orggeochem.2019.103931
13. *Surface water resources of the USSR: hydrological studies. Vol. 17. Lensk-Indigirsky district. Iss. 5. Lower Lena (Lena river basin below the mouth of the Vilyui River)*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1965. 120 p. (In Russ.)

14. *Surface water resources of the USSR: hydrological studies. Vol. 17. Lensk-Indigirsky district. Iss. 3. Aldan River basin.* Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1966. 210 p. (In Russ.)
15. Malkov D.S., Surnin A.I., Guseva N.V. Chemical composition of natural waters of the eastern rim of the Siberian platform (Predverkhoyansk foredeep). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2024, vol. 335, no. 11, pp. 197–209. DOI: 10.18799/24131830/2024/11/4564
16. Malkov D.S. Chemical composition of the water of Lake Kuollanda-Kuel (Predverkhoyansk foredeep, Yakutia). *Problems of geology and subsoil development. Proc. of the XXVII International Youth Scientific Symposium named after Academician M.A. Usov.* Tomsk, April 03–07, 2023. Tomsk, National Research Tomsk Polytechnic University Publ., 2023. pp. 154–155. (In Russ.)
17. Lar U.A., Bata T., Dibal H., Yusuf S.N., Lekmanga I., Goyit M., Yennea E. Potential petroleum prospects in the middle Benue trough, central Nigeria: inferences from integrated applications of geological, geophysical and geochemical studies. *Scientific African*, 2022, vol. 19. DOI: 10.1016/j.sciaf.2022.e01436.
18. Chongxi L., Xueming W. Near surface hydrogeochemical exploration for oil and gas in China. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1991, vol. 5, no. 1–4, pp. 313–316.
19. Philp R.P., Crisp P.T. Surface geochemical methods used for oil and gas prospecting – a review. *Journal of Geochemical Exploration*, 1982, vol. 17, no. 1, pp. 1–34.
20. Gene Collins A. Geochemical methods of exploration for petroleum and natural gas. *Developments in Petroleum Science*, 1975, vol. 1, pp. 307–341. DOI:10.1016/S0376-7361(08)70203-6.
21. Novikov D.A. Hydrogeochemistry of the Arctic areas of Siberian petroleum basins. *Petroleum Exploration and Development*, 2017, vol. 44, no. 5, pp. 737–744.

Information about the author

Denis S. Malkov, Postgraduate Student, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation. MalkovDS@tpu.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9614-7506>

Alexey I. Surnin, Cand. Sc., Head of Department, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Raw Materials, 67, Krasny avenue, Novosibirsk, 630091, Russian Federation. SurninAI@rusgeology.ru

Natalya V. Guseva, Dr. Sc., Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation. GusevaNV@tpu.ru

Received: 26.02.2025

Revised: 26.05.2025

Accepted: 16.06.2025