

УДК 553.074

DOI: 10.52531/1682-1696-2025-25-3-3-10

Научная статья

EDN: BLCXUP

ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИЕ ТРЕПЕЛЫ ХОТЫНЕЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ОРЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ): ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ, МИНЕРАЛЬНОГО И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

А.А. РАССКАЗОВ¹, Н.Д. КАРЕЛИНА¹,
И.В. ДЕРЕВЯШКИН²,
Т.П. МОРОЗОВА³

¹ РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ
НАРОДОВ ИМЕНИ ПАТРИСА ЛУМУМБЫ,
МОСКВА, РФ

² ФГАОУ ВО «МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИ-
ЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», МОСКВА, РФ

³ ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО
ОРДЖОНИКИДЗЕ" (МГРИ)», МОСКВА, РФ

Цеолиты являются важным природным материалом, имеющим широкое применение во многих отраслях промышленности. Благодаря своим уникальным ионообменным и сорбционным свойствам он востребован сразу в нескольких ключевых сферах современности, одной из которых является охрана окружающей среды. Статья посвящена изучению геологического строения цеолитсодержащих трепелов Хотынецкого месторождения, минерального состава и их химическим особенностям. Микроскопические, рентгенофазовые и рентгенофлуоресцентные анализы выполнялись в лаборатории рудных месторождений ИГЕМ РАН, обработка данных осуществлялась в лаборатории компьютерных технологий РУДН в программах Statistica и Starter. Макро- и микроскопически породы характеризуются светлыми оттенками, имеют массивные, неяснослоистые текстуры и микро- и мелкозернистые структуры. Результаты исследований показали, что породы Хотынецкого месторождения имеют комплексный состав и представляют собой так называемый полезный компонент – сумму минералов группы цеолита (клиноптилолит), смектита и опал-кристобалита в сочетании с карбонатами. Карбонаты понижают качество сырья, и их содержание колеблется от 5 до 35%. Выявлено слоистое строение толщи по соотношению полезного компонента и вредной примеси.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Хотынецкое месторождение, Орловская область, цеолитсодержащие породы, трепел, сорбционные свойства, загрязнение окружающей среды, минералогия, химический состав

Original article

ZEOLITE-CONTAINING TRIPOLI OF KHOTINETSK DEPOSIT (OREL DIST.): FEATURES OF THE STRUCTURE, MINERAL AND CHEMICAL COMPOSITION

A.A. RASSKAZOV¹, N.D. KARELINA¹,
I.V. DEREVYASHKIN², T.P. MOROZOVA³

¹ PATRICE LUMUMBA PEOPLES' FRIENDSHIP
UNIVERSITY OF RUSSIA (RUDN
UNIVERSITY), MOSCOW, RF

² MOSCOW POLYTECHNIC UNIVERSITY,
MOSCOW, RF

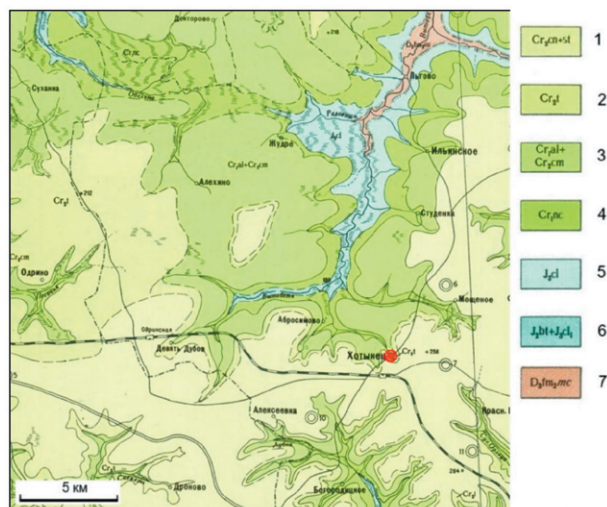
³ SERGO ORDZHONIKIDZE RUSSIAN STATE
GEOLOGICAL EXPLORATION UNIVERSITY
(MGRI), MOSCOW, RF

Zeolites are an important natural material that is widely used in many industries. Due to its unique ion exchange and sorption properties, it is in demand in several key areas of our time, one of which is environmental protection. The article is devoted to the study of the geological structure of zeolite-containing tripels of the Khotynets deposit, mineral composition and their chemical features. Microscopic, X-ray phase and X-ray fluorescence analyses were performed in the laboratory of ore deposits of IGEM RAS, data processing was carried out in the laboratory of computer technologies of RUDN in the programs Statistica and Starter. Visually, zeolite-containing tripoli is a rock of light shades with massive, indistinctly layered textures, and micro- and fine-grained structures. The research results have shown that the rocks of the Khotynets deposit have a complex composition and represent the so-called useful component – the sum of the minerals of the zeolite (clinoptilolite), smectite and opal-cristobalite group in combination with carbonates. Carbonates reduce the quality of raw materials, and their content ranges from 5 to 35%. The layered structure of the thickness was revealed by the ratio of the useful component and the harmful impurity.

KEYWORDS: Khotynets deposit, Oryol Region, zeolite-containing rocks, trepel, sorption properties, environmental pollution, chemical composition, mineralogy

Геологическое строение района месторождения приведено на основании фондовых материалов.

Месторождение приурочено к верхнему отделу меловой системы, коньяк-сантонскому ярусу (рис. 1). Морфологически толща трепелов характеризуется пластовым строением, имеющим сплошное распространение по всей площади участка. Нижняя граница залежи имеет ровную субгоризонтальную поверхность и плавно погружается в юго-западном направлении до 2 м на 1 км. Мощность толщи в среднем составляет 20 м.



Условные обозначения: 1–4 меловая система: 1-коньянский и сантонский ярусы. Трепелы и опоки; 2 – туронский ярус. Белый писчий мел; 3 – альбский и сеноманский ярусы. Кварцевые пески; 4 – валанжский, готеривский и барремский ярусы. Песчано-глинистые отложения с конкрециями сидерита; 5–6 юрская система: 5 – келловейский ярус. Глины с конкрециями сидерита; 6 – батский ярус. Пески с прослоями глин; 7 – девонская система, фаменский ярус. Известняки, доломиты, мергели

РЕЗУЛЬТАТЫ

Генезис. Цеолиты Хотынецкого месторождения относятся к осадочному типу. В результате многолетних тщательных исследований было показано, что цеолиты группы клиноптилолита присутствуют в морских терригенных и карбонатных отложениях различных фаций, но при этом тяготеют к глинистой части осадков [9, 11]. По целому ряду признаков доказывается, что природа таких цеолитов – диагенетическая [3, 8, 11]. А.Д. Савко формулирует необходимые условия формирования цеолитов в диагенезе [10, 11]: а) щелочная среда (именно по этой причине цеолиты находятся в антагонизме с каолинитом, образование которого требует кислой среды); б) присутствие в среде высокорекреационного биогенного аморфного кремнезема; в) присутствие катионов калия и натрия из захороненной морской воды; г) наличие в среде алюминия в глинистых частицах.

Для данного типа месторождений цеолитов характерно образование в морских, платформенных бассейнах со спокойной гидродинамической обстановкой, в условиях гумидного или полуаридного климата [5].

Материалом для образования служат алюмосиликатные гели, плохокристаллизованные глинистые минералы и аморфный биогенный кремнезем (диатомовые водоросли и кремнистые губки). Они поступают с речными стоками с суши в морские и озерные бассейны. Благоприятным источником материнского вещества служат коры выветривания алюмосиликатных пород на начальной стадии выветривания на суше [11].

Макроскопия. Все породы полезной толщи характеризуются светлыми цветами – от белоснежного до сероватого с бежевым оттенком. Основная часть образцов имеет однородную, массивную текстуру. Встречаются образцы со слоистой либо полосчатой текстурой, а также образцы, покрытые черным органическим дендритом (рис. 2).

Микроскопия. Структуры образцов определялись методом изучения прозрачно-полированных шлифов под поляризационным микроскопом. Структура образцов микро- и мелкозернистая. Основная масса представлена глинистыми минералами с примесью зерен кварца, полевого шпата и карбонатов. Зерна цеолита (клиноптилолита) представлены игольчатыми выделениями длиной в 100–150 мкм (рис. 3А). Встречаются образцы с оолитовой структурой (рис. 3Б), а также образцы с остатками диатомовых водорослей.

Минералогия. Более детально минеральный состав был определен с помощью рентгенофазового анализа (табл. 1). Порядок определения минералов приведен во многих литературных источниках [2, 15].

Полученные данные позволяют сделать вывод, что основную массу породы составляет цеолит, содержание которого колеблется от 23 до 39%, смектит (20–27%) и минералы аморфной и кристаллической разновидности кремнезема (кварц, тридимит, кристобалит,

аморфный кремнезем) – 20–25%. Содержание карбонатов (кальцита) распределено неравномерно по разрезу. В виде примесей также присутствуют полевой шпат, иллит и в незначительном количестве анатаз.

По данным минералогического анализа в программе Starter был построен график изменения количества минералов с глубиной (рис. 4).

Из графика видно, что толща имеет слоистое строение – на изученном интервале выделяются две пачки: верхняя (0–1,8 м) и нижняя (1,8–2,4 м). Содержание полезных минералов (клиноптилолит, смектит и др.) в верхней пачке достигает 90%, а содержание карбонатов не превышает 5%. И напротив, количество минералов, содержащих полезный компонент, в нижней пачке резко уменьшается, тогда как содержание карбонатов достигает 30%.

Химический состав. Для изучения химического состава трепелов проводился рентгенофлуоресцентный анализ. По результатам анализа видно, что основными элементами, определяющими качество, является кремнезем и оксид кальция, на сумму которых приходится

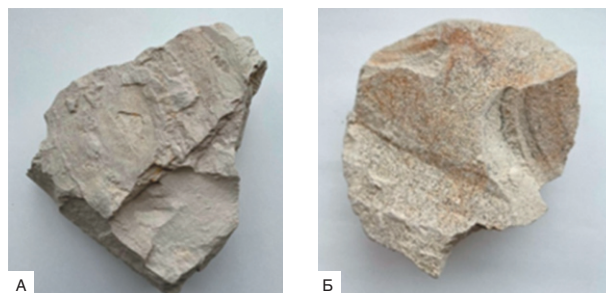


Рис. 2.

Тектурно-структурные особенности цеолитсодержащих трепелов Хотынецкого месторождения: А – порода серо-бежевого цвета, массивная текстура; Б – порода бежевого цвета, неяснослоистая текстура с прослоями черного органического дендрита

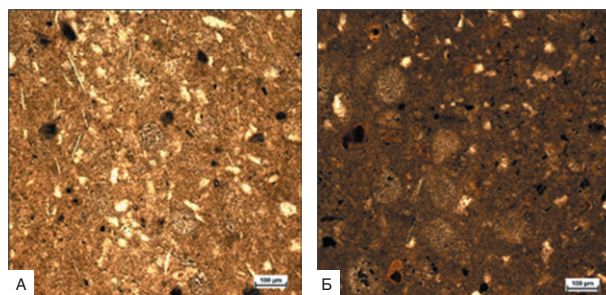


Рис. 3.

Микрофотографии полированных шлифов цеолитсодержащего трепела Хотынецкого месторождения: А – основная масса представлена глинистыми минералами и трепелом (в образце присутствуют зерна кварца и КПШ, а также игольчатые агрегаты цеолита); Б – образец с оолитовой структурой (основная масса представлена глинистыми минералами, аморфным кремнеземом, кварцем и КПШ)

ТАБЛИЦА 1.

Минеральный состав цеолитсодержащего трепела Хотынецкого месторождения, %

Минерал / Mineral	Образец 1-1 Sample 1-1	Образец 1-2 Sample 1-2	Образец 1-3 Sample 1-3	Образец 1-4 Sample 1-4	Образец 1-5 Sample 1-5	Образец 1-6 Sample 1-6
Кварц / Quartz	10,3	13,3	13,9	13	10,8	10,2
Тридимит / Tridymite	1,2	2	2,4	1,6	1,5	1,8
Кристаллит / Cristobalite	1,5	1,5	1,2	1,5	0,6	0,6
Анализ / Anataz	0,8	0,8	<0,5	<0,5	0,5	0,5
КПШ (микроклин) / feldspar microcline	5	8,7	10,2	8,3	6,8	5,4
Кальцит / Calcite	<0,5	–	0,8	–	30,5	33,5
Цеолит / Zeolite	34,3	34,8	30,8	39	24,7	23,2
Смектит / Smectite	27,5	25,8	23,8	26,8	20,6	19,2
Иллит / Illit	7,5	4,4	6,2	4,3	2,2	3
Аморф SiO ₂ / Amorphous SiO ₂	11,5	8,7	10,3	5,1	1,8	2,6

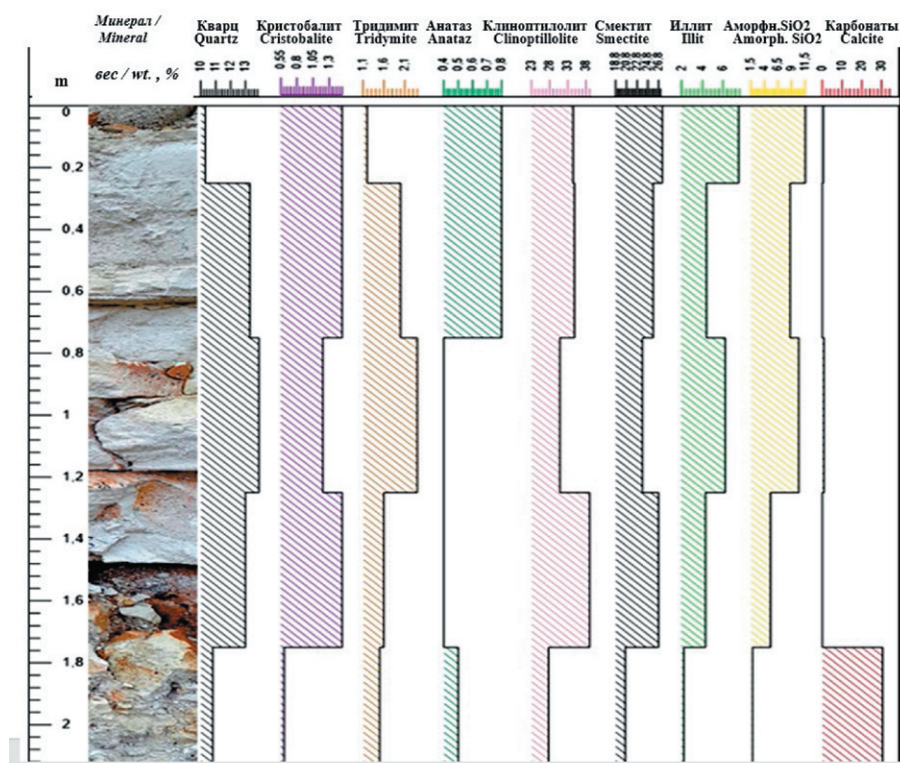


РИС. 4.

График изменения содержания минералов в породах Хотынецкого месторождения с глубиной

от 70 до 80%. На долю остальных элементов приходится порядка 15% (табл. 2).

Несмотря на то, что в целом у всех образцов близкий химический состав, можно сделать несколько выводов:

1. С глубиной планомерно уменьшается содержание кремнезема.

2. Содержание CaO резко увеличивается у подошвы обнажения.

3. Содержания Al₂O₃, K₂O, TiO₂, P₂O₅, Fe₂O₃ и MgO коррелируют и с одинаковым соотношением меняются с глубиной.

5. Содержание MnO по всей толще невелико, однако на интервале 0,75–1,3 м резко увеличивается до 0,014%.

ТАБЛИЦА 2.

Химический состав цеолитсодержащих трепелов Хотынецкого месторождения, %

Обр. №	ППП	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅
	%										
1–1	16,61	0,12	1,13	6,34	56,92	1,34	14,12	0,43	0,004	2,61	0,18
1–2	10,83	0,12	1,58	8,73	67,82	1,65	3,53	0,53	0,005	4,01	0,99
1–3	9,26	0,10	1,35	7,33	72,95	1,45	2,49	0,46	0,014	3,58	0,56
1–4	9,12	0,10	1,27	6,77	75,75	1,34	1,73	0,43	0,003	3,13	0,19
1–5	10,27	0,11	1,53	8,09	71,97	1,50	1,98	0,50	0,004	3,58	0,27

По данным химического анализа в программе Strater был построен график изменения содержаний химических элементов с глубиной (рис. 5).

На основании детального изучения минерального и химического состава скважин было выделено 2 пачки: верхняя и нижняя (рис.5). Суммарное содержание клиноптилолита, монтмориллонита и опал-кристобалита в верхнем слое изменяется от 63 до 94%, а содержание карбонатов не превышает 5%. Мощность верхней пачки в среднем составляет 5,5 м. Суммарное содержание клиноптилолита, монтмориллонита и опал-кристобалита нижнего слоя варьирует от 45 до 94%, содержание кальция – более 5%; его средняя мощность составляет 9 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований удалось подробно изучить представленные образцы цеолитсодержащего трепела при помощи электронного микроскопа, а также проанализировать минеральный и химический составы цеолитсодержащих трепелов Хотынецкого месторождения. Большая часть состава приходится на полезный компонент – сумму минералов группы цеолита (клиноптилолит), смектита и опал-кристобалита. Содержание полезного компонента высокое в верхних слоях разреза, но уменьшается к нижним слоям, тогда как содержание вредной примеси – кальцита – не превышает 5% в верхних частях толщи, но значительно увеличивается с глубиной. Изученные цеолитсодержащие трепелы относятся к осадочному типу образования, их природа диагенетическая. На основании фоновых материалов и геологических карт было приведено детальное описание геологических и структурных особенностей месторождения.

ВКЛАД АВТОРОВ

Рассказов Андрей Александрович – собрал полевой каменный материал для статьи, разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Карелина Надежда Дмитриевна – изучила минеральный состав представленных образцов при помощи рентгенофазового анализа; химический состав трепелов – при помощи рентгенофлуоресцентного

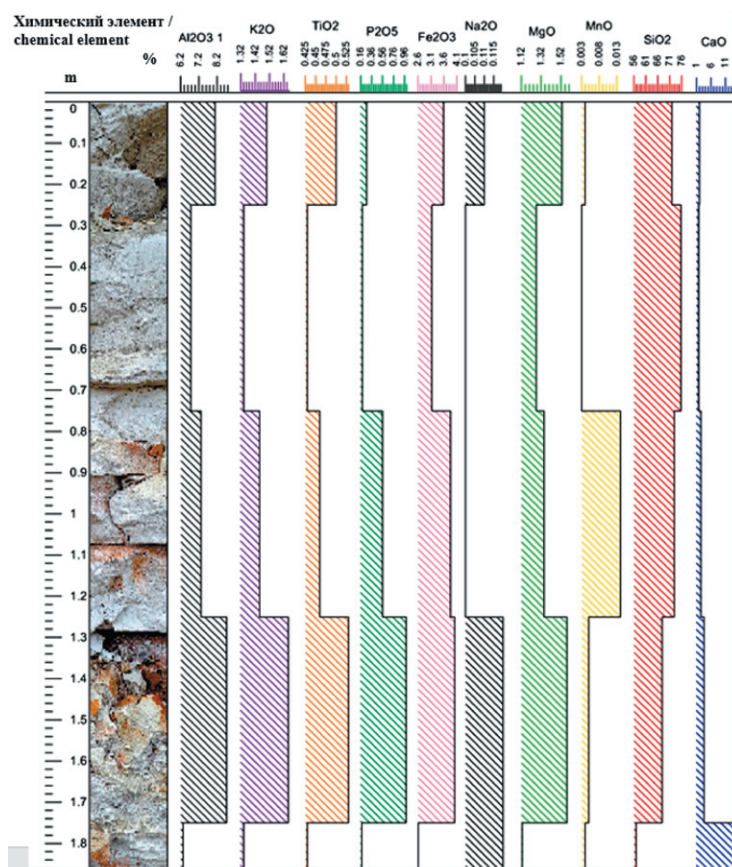


РИС. 5.

График изменения содержаний химических элементов в трепелах Хотынецкого месторождения с глубиной

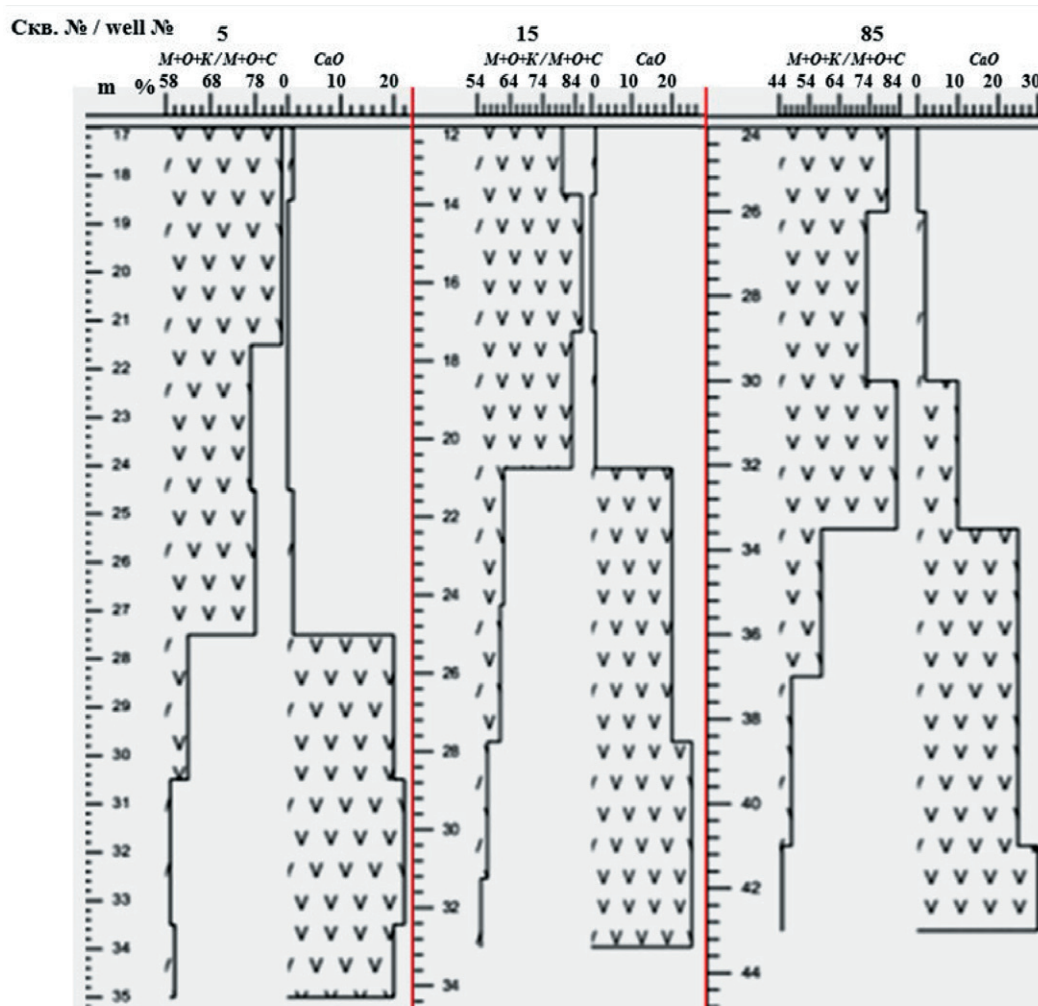


РИС. 6.

График изменения содержаний полезных компонентов М+О+К (монтмориллонит+опал-кристобалит +клиноптилолит) и карбонатов (СаО) в пределах выделенных пачек

анализа. Разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Деревяшкин Игорь Владимирович – проанализировал геологическое строение района месторождения на основании фондовых материалов. Разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Морозова Татьяна Петровна – разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адушкин В.В., Санина И.А., Владимирова И.С., Габсатаров Ю.В., Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н. Исследование неотектонической активности морфоструктур центральной части Восточно-Европейской платформы с использованием дистанционных методов // Физика Земли. 2014. №2. С. 21–28. DOI: 10.7868/S000233371402001X/
2. Белоусов П.Е., Бочарникова Ю.И., Боева Н.М. Аналитические методы диагностики минерального состава бентонитовых глин // Вестник РУДН. Серия Инженерные исследования. 2015. № 4. С. 94–101.
3. Белоусов П.Е., Чупаленков Н.М., Карелина Н.Д., Крупская В.В. Геолого-структурная позиция месторождений бентонита и цеолита России // Породо-, минерало- и рудообразование: достижения и перспективы исследований. Труды к 90-летию ИГЕМ РАН, 2020. С. 826–830.

4. БУХТОЯРОВ И.С., ГОФФЕНШЕФЕР С.Я. Геологическая карта, Лист N-36-XXX, м-б 1:200 000. ВСЕГЕИ, 1957.
5. ДИСТАНОВ У.Г., АКСЕНОВ Е.М., САБИТОВ А.А. Фанерозойские осадочные палеобассейны России: проблемы эволюции и минерализации неметаллов. М.: Изд-во "Геоинформатика". 2000. 399. [1] С. 83–96.
6. КОТОВА О. Б., ХАРЖА М., КРЕТЕСКУ И., НОЛИ Ф., ПЕЛОВСКИЙ Й., ШУШКОВ Д.А. Цеолиты в технологиях предотвращения и восстановления водных систем от загрязнения // Вестник ИГ Коми НЦ Ур. отд. РАН, май, 2017. № 5. С. 49–53. DOI: 10.19110/2221-1381-2017-5-49-53.
7. ПАНИНА Л.В., ЗАЙЦЕВ В.А., СЕНЦОВ А.А., АГИБАЛОВ А.О. Неотектоника центральной части Восточно-Европейской платформы // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. Геол. 2016. Т. 91, вып. 4–5. С. 51–60.
8. ПЕТРОВА В.В. Низкотемпературные вторичные минералы и их роль в литогенезе. М.: Изд-во ГЕОС, 2005. 240 с.
9. РАССКАЗОВ А.А., БУЯНОВ М.И., ГОРБАТОВ И.С., ВАСИЛЬЕВА Е.Ю. К вопросу о возможности освоения перспективных цеолитопоявлений Монголии с учетом особенностей их формирования. Материалы XIV Международной научно-практической конференции "Новые идеи в науках о Земле". М.: Изд-во МГРИ им. Серго Орджоникидзе. 2019. Т. 4. С. 49–51.
10. САВКО А.Д., СВИРИДОВ В.А. О генезисе цеолитов в мезокайнозойских отложениях Воронежской антеклизы // Геохимия литогенеза. Мат-лы Российского совещания, с международным участием. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. 334 с. С. 206–209.
11. САВКО А.Д., СВИРИДОВ В.А. Эволюция минерального состава глин в зависимости от условий их седиментации и диагенеза (на примере кайнозойских отложений Воронежской антеклизы) // Эволюция осадочных процессов в истории Земли: материалы 8-го Всероссийского литологического совещания (Москва, 27–30 октября 2015 г.). М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2015. Т. 1. 419 с. С. 293–296.
12. СЫЧЕВА В.Е. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2018 года. Вып. 41. Цеолиты. ФГБУ Российский федеральный геологический фонд, 18 л., 1 кн.
13. ХАТЬКОВА А.Н., РАЗМАХНИН К.К., ШУМИЛОВА Л.В., ЧЕРКАСОВ В.Г., РАЗМАХНИНА И.Б. Обогащение и модификация свойств цеолитосодержащих пород с целью расширения областей их практического применения // Горный бюллетень. 2021. № 3–2. С. 153–163. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-32-0-153
14. ЧУЛКОВ А.Н., ДЕЙНЕКА В.И., ДЕЙНЕКА Л.А. Особенности оценки ионообменных характеристик

глин // Научные ведомости. Серия Естественные науки. 2011. № 15 (110). Вып. 16. С. 88–94.

15. GUATAME-GARCIA A., BUXTON M. The Use of Infrared Spectroscopy to Determine the Quality of Carbonate-Rich Diatomite Ores. Minerals 2018, 8, 120. <https://doi.org/10.3390/min8030120>.
16. KALITA B., BORA S.S., GOGOI B. Zeolite: a soil conditioner // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. Vol. 9. N 1. P. 1184–1206. <https://doi.org/10.20546/ijcmac.2020.901.133>
17. SEMENKOVA A., BELOUSOV P., RZHEVSKAYA A., IZOSIMOVA YU., MASLAKOV K., TOLPESHTA I., ROMANCHUK A., KRUPSKAYA V. U(VI) sorption onto natural sorbents // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2020. V. 326(1). P. 293–301. DOI: 10.1007/S10967-020-07318-Y.
18. RAZMAKHININ K.K. On the question of using natural zeolites to increase the environmental safety of mining regions // Mining Sciences and Mineral Field Development: Challenges and Solutions. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 991. P. 12–39. DOI: 10.1088/1755-1315/991/1/012039.
19. TAZIĆ Z., BOGDANOVIĆ G.D., ANTONIJEVIĆ M.M. Application of natural zeolites in wastewater treatment – A review. Journal of Mining and Metallurgy A: Mining. 2019. Vol. 55, N1. P. 67–79. DOI:10.5937/JM-MA1901067T
20. WILLIAMS C.D. Applications of zeolites to environmental remediation. Chapter 19 in book Urban pollution: Science and Management. First Edition. Edited by Susanne M. Charlesworth and Colin A. Booth. 2018. N 423. P. 249–258.

REFERENCES

1. ADUSHKIN V.V., SANINA I.A., GORBUNOVA E.M., IVANCHENKO G.N., VLADIMIROVA I.S., GABSA TAROV Y.V. Study of neotectonic activity of morphostructures in the central part of the east european craton by remote sensing methods. *Fizika Zemli*. 2014;50;(2): 169–176. DOI: 10.1134/S1069351314020013. (In Russian).
2. BELOUSOV P.E., BOCHARNIKOVA YU.I., BOEVA N. M. Analytical methods for diagnostic of mineral composition in bentonite clay. *Vestnik RUDN*. 2015;4:94–101. (In Russian).
3. BELOUSOV P.E., CHUPALENKOV N.M., KARELINA N.D., KRUPSKAYA V.V. Geological and structural position of bentonite and zeolite deposits in Russia// Rock, mineral and ore formation: achievements and prospects of research. Proceedings for the 90th anniversary of IGEM RAS, 2020;930:826–830. ISBN 978-5-88918-060-9. (In Russian).
4. BUKHTOYAROV I. S., GOFFENSCHER S. YA. Geological map, Sheet N-36-XXX, m-b 1:200 000. VSEGEI, 1957. (In Russian).

5. **DISTANOV U.G., AKSENOV E.M., SABITOV A.A.** Phanerozoic sedimentary paleobasins of Russia: problems of evolution and minerageny of nonmetals. Moscow: Geoinformatika, 2000:83–96. (In Russian).
6. **KOTOVA O., HARJA M., CRETESCU I., NOLI F., PELOVSKI Y., SHUSHKOV D.** Zeolites in technologies of pollution prevention and remediation of aquatic systems. *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, May, 2017;5:49–53. DOI: 10.19110/2221-1381-2017-5-49-53. (In Russian).
7. **PANINA L.V., ZAITSEV V.A., SENTSOV A.A., AGIBALOV A.O.** Neotectonics of the East European Platform central part. *Byul. Mosk. o-va ispytateley prirody. Otd. Geol.* 2016;91:4–5:51–60. (In Russian).
8. **PETROVA V.V.** Low-temperature secondary minerals and their role in lithogenesis (silicates, aluminosilicates, hydroxides). Moscow: GEOS, 2005:247. ISBN: 5-89118-372-9. (In Russian).
9. **RASSKASOV A.A., BUYANOV M.I., GORBATOV I.S., VASILYEVA E.YU.** On the question of the possibility of developing promising zeolite manifestations of Mongolia, taking into account the peculiarities of their formation. Materials of the XIV International Scientific and Practical Conference "New Ideas in Earth Sciences". Moscow: Izd-vo MGRI im. Sergo Ordzhonikidze. 2019;4:49–51. ISBN 978-5-6040812-0-4 (In Russian).
10. **SAVKO A. D., SVIRIDOV V. A.** On the genesis of zeolites in mesozoic deposits of the Voronezh antecline. Geochemistry of lithogenesis. Materials of the Russian Meeting, with international contribution. Syktyvkar: IG KomiSC UB RAS. 2014:206–209. (In Russian).
11. **SAVKO A. D., SVIRIDOV V. A.** Evolution of the mineral composition of clays depending on the conditions of their sedimentation and diagenesis (on the example of Cenozoic deposits of the Voronezh antecline). Evolution of sedimentary processes in the history of the Earth: Materials of the 8th All-Russian Lithological Meeting (Moscow, October 27–30, 2015). Moscow: RGU нефти i gaza imeni I.M. Gubkina. 2015;1:293–296. (In Russian).
12. **SYCHEVA V.E.** State balance of mineral reserves of the Russian Federation as of January 1, 2018. Issue 41. Zeolites. FSBI Russian Federal Geological Fund. 18 sheets 1 book. (In Russian).
13. **KHATKOVA A.N., RAZMAKHIN K.K., SHUMILOVA L.V., CHERKASOV V.G., RAZMAKHIN I.B.** Beneficiation and modification of properties of zeolite-bearing rocks toward expansion of their application range. *MIAB. Gornyy byulleten'.* 2021;(3-2):153-163. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-32-0-153. (In Russian).
14. **CHULKOV A.N., DEINEKA V.I., DEINEKA L.A.** Features of the assessment of ion-exchange characteristics of clays. *Nauchnyye vedomosti. Seriya Yestestvennyye nauki.* 2011;15;(110):16:88–94. (In Russian).
15. **GUATAME-GARCIA A.; BUXTON M.** The Use of In-

А.А. РАССКАЗОВ, Н.А. КАРЕЛИНА, И.В. ДЕРЕВЯШКИН, Т.П. МОРОЗОВА
ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИЕ ТРЕПЕЛЫ ХОТЫНЕЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ОРАОВСКАЯ ОБЛАСТЬ): ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ, МИНЕРАЛЬНОГО И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

- fared Spectroscopy to Determine the Quality of Carbonate-Rich Diatomite Ores. *Minerals* 2018, 8, 120. <https://doi.org/10.3390/min8030120>
16. **KALITA B., BORA S. S., GOGOI B.** Zeolite: a soil conditioner. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences.* 9;1:1184–1206. <https://doi.org/10.20546/ijcmac.2020.901.133>
17. **SEMENKOVA A., BELOUSOV P., RZHEVSKAYA A., IZOSIMOVA YU., MASLAKOV K., TOLPESHTA I., ROMANCHUK A., KRUPSKAYA V.** U(VI) sorption onto natural sorbents. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry.* 2020;326;(1):293–301. DOI: 10.1007/S10967-020-07318-Y
18. **RAZMAKHIN K.K.** On the question of using natural zeolites to increase the environmental safety of mining regions. Mining Sciences and Mineral Field Development: Challenges and Solutions. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022;991:12–39 DOI: 10.1088/1755-1315/991/1/012039.
19. **TAZIĆ, Z.Z., BOGDANOVIĆ G.D., ANTONIJEVIĆ M.M.** Application of natural zeolites in wastewater treatment – A review. *Journal of Mining and Metallurgy A: Mining.* 2019;55;(1):67–79. DOI:10.5937/JMMA1901067T
20. **WILLIAMS C.D.** Applications of zeolites to environmental remediation. Chapter 19 in book *Urban pollution: Science and Management.* First Edition. Edited by Susanne M. Charlesworth and Colin A. Booth. 2018;423:249–258.

Рассказов Андрей Александрович, профессор Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы Департамента недропользования и нефтегазового дела, Инженерная академия

✉ e-mail: rasskasov_aa@pfur.ru

Карелина Надежда Дмитриевна, аспирант Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы Департамента недропользования и нефтегазового дела, Инженерная академия

✉ 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6,
117198, Moscow, Miklukho-Maklaya st., 6,
e-mail: karelina_ev@pfur.ru

Деревяшкин Игорь Владимирович, д.т.н., профессор кафедры техники и технологии горного и нефтегазового производства ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»

✉ 107023, г. Москва, ул. Большая Семеновская, д. 38,
107023, Moscow, Bolshaya Semenovskaya St., 38,
e-mail: div-05@mail.ru

Морозова Татьяна Петровна, к.г.-м.н., доцент кафедры геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ)

✉ 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23,
117997, Moscow, Miklukho-Maklaya st., 23,
e-mail: morozovatp@mgri.ru