

УДК 661.333:504

Белкин Павел Андреевич

кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник,
научно-исследовательская лаборатория
инженерно-экологических исследований,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет,
614068, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15
e-mail: belkin_pa@mail.ru

Ушакова Евгения Сергеевна

кандидат геолого-минералогических наук,
младший научный сотрудник,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет
e-mail: ushakova.evgeniya@gmail.com

Пугач Владимир Владимирович

инженер,
научно-исследовательская лаборатория
технологической минералогии,
Естественнонаучный институт Пермского
государственного национального
исследовательского университета,
614068, г. Пермь, ул. Генкеля, д. 4
e-mail: vladimirpugach0@gmail.com

Дробинина Елена Викторовна

кандидат геолого-минералогических наук,
доцент кафедры динамической геологии и
гидрогеологии геологического факультета,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет
e-mail: alenadrobina@yandex.ru

**ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ПРИ
ДОЛГОВРЕМЕННОМ СКЛАДИРОВАНИИ
ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОГО
ПРОИЗВОДСТВА СОДЫ****Аннотация:*

Производство кальцинированной соды сопровождается образованием большого объема промышленных отходов. В статье приведен анализ воздействия хранилищ таких отходов на окружающую среду. Приведены результаты комплексного изучения состава осадков в заброшенном шламовом пруде на территории Пермского края. Вещественный состав осадков в высокой мере схож со шламами содового производства. Вместе с этим выявлены существенные вариации химического, минерального и гранулометрического состава осадков по глубине. Для подбора методов утилизации осадка требуется исследование изменчивости его свойств по всей площади пруда и адаптация ранее разработанных технологий обращения с отходами содового производства с учетом изменчивости свойств.

Ключевые слова: сырьевая база, химическая промышленность, кальцинированная сода, отходы производства, вторичное использование отходов.

DOI: 10.25635/2313-1586.2025.02.013

Belkin Pavel A.

Candidate of geological and mineralogical sciences,
Senior Researcher,
Research laboratory of engineering
and environmental surveys,
Perm State National Research University,
614068 Perm, 15 Bukireva Str.
e-mail: belkin_pa@mail.ru

Ushakova Eveniya S.

Candidate of geological and mineralogical sciences,
Junior Researcher, Research laboratory of engineering
and environmental surveys,
Perm State National Research University,
e-mail: ushakova.evgeniya@gmail.com

Pugach Vladimir V.

Engineer
of the research laboratory
of technological mineralogy,
Natural Science Institute
of Perm State National
Research University,
614068 Perm, 4 Genkel Str.
e-mail: vladimirpugach0@gmail.com

Drobinina Elena V.

Candidate of geological and mineralogical sciences,
Associate Professor, Department of dynamic
geology and hydrogeology,
Faculty of geology,
Perm State National Research University
e-mail: alenadrobina@yandex.ru

**ASSESSMENT OF POTENTIAL
ENVIRONMENTAL RISKS DURING
LONG-TERM STORAGE OF INDUSTRIAL
WASTE OF SODA PRODUCTION***Abstract:*

The production of soda ash is connected with the process of generation of a large volume of industrial waste. The article presents an analysis of the environmental effects of such waste storage facilities. The paper contains the results of a complex research of sediment composition in an abandoned sludge pond on the territory of Perm Krai. The material composition of the sludge is highly similar to the sludge from the soda production process. At the same time, significant variations of chemical, mineral and granulometric composition of sediments along the depth were revealed. Selection of sludge utilization methods requires a study of the variability of sludge properties over the entire pond area and adaptation of previously developed soda waste management technologies to account for the variability of properties.

Key words: raw material base, chemical industry, soda ash, production waste, waste recycling, waste utilization.

* Исследования проводились при финансовой поддержке и в рамках реализации проекта РНФ № 24-77-10062.

Введение

Кальцинированная сода является важной составляющей в нефтехимической и химической, стекольной, целлюлозно-бумажной промышленности, цветной и черной металлургии, горнодобывающей отрасли и в других отраслях. Карбонат натрия производится как синтетическим способом (в основном по аммиачно-содовой технологии Сольве), так и из натуральной соды, которая встречается в виде подземных рассолов, рапы в соляных озерах и минералов (трона ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), натрон ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), нахколит (NaHCO_3), термонарит ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)) [1].

Месторождения трона имеют ограниченное распространение в земной коре. Они могут встречаться в ассоциации с боратами и другими солевыми отложениями. В глобальном масштабе выделяются четыре основные континентальные троновые провинции: в Анатолии (Турция), Вайоминге (США), Вученге (Китай) и Ботсване (юг Африки), которые связаны с щелочным вулканизмом, деятельностью термальных источников, закрытыми бассейнами и засушливым климатом [2].

Добыча природной соды в России осуществляется из единственного месторождения в Алтайском крае. Михайловское месторождение природной соды состоит из группы трех озер с балансовыми – 1668 тыс. т и забалансовыми запасами – 947 тыс. т. Данный участок находится в пользовании у ООО «Сибирская содовая компания» [3].

Мировым лидером производства кальцинированной соды в 2023 г. являлся Китай. Выработка соды здесь составила 29 млн т (преимущественно синтетической), далее – Турция и США (по 11 млн т в каждой стране). В России за этот период было произведено 3,274 млн т синтетической соды [4, 5].

Карбонатным сырьем для производства кальцинированной соды с использованием аммиачной технологии могут являться известняк или мел, причем первый предпочтительнее, поскольку мел является пористой породой и легко впитывает влагу, в результате чего нарушается нормальный ход обжига в известковых печах. В России наиболее крупные запасы карбонатного сырья сосредоточены в Себряковском месторождении мела в Волгоградской области, Новороссийском месторождении мергелей (Краснодарский край), Чаньвинском месторождении известняков (Пермский край), Боснинском месторождении доломитов (Северная Осетия), Ниланском месторождении известняков (Хабаровский край) и некоторых других [6].

Экологические аспекты производства кальцинированной соды

При производстве кальцинированной соды аммиачным способом образуется большое количество отходов. Так, на 1 т готового продукта приходится 9,5 – 10 м³ дистиллерной жидкости; 50 – 55 кг шлама в результате получения известкового молока; 0,1 – 0,15 м³ шлама в результате очистки рассола хлорида натрия. Отходы характеризуются высоким содержанием солей: минерализация водной вытяжки из шламов составляет от 1 до 39 г/кг. Высокое солесодержание обусловлено технологией производства и спецификой сырья. Так, на тонну готового продукта приходится около 1 т хлоридов, 400 кг кальция и порядка 200 кг натрия [7, 8].

Отходы производства (пульпу из шламов и дистиллерной жидкости) сбрасывают в специальные отстойники, называемые «белыми морями». Шламы оседают на дне отстойников, а осветленную дистиллерную жидкость сбрасывают в природные водоемы, что может приводить к росту минерализации в водоемах и вызывать существенное снижение биоразнообразия в них [9, 10].

За последние двадцать лет в Европе и Америке, в связи с экономическими, экологическими и социальными аспектами, уже закрылись или были реструктурированы предприятия по производству кальцинированной соды, являющиеся одной из самых экологически обременительных отраслей неорганической промышленности [11, 12]. На большей части предприятий содового производства, основанных в конце 19 – в начале 20 века, размещение отходов производства осуществлялось без изолирующего (непро-

нищаемого) слоя, следствием было выщелачивание хлоридных солей в грунтовые и поверхностные воды, как, например, засоление р. Вильга в районе от прудов-отстойников бывшего завода Сольве в Кракове (Польша) [13, 14].

Содовая промышленность в Прикамье

Старейшее в России производство соды по технологии Э. Сольве расположилось в Прикамье на левом берегу р. Камы в г. Березники. Выбор участка размещения производства, в первую очередь, был обусловлен наличием сырья: высококачественных известняков, рассолов хлорида натрия, получаемых из галитовых отходов, приуроченных к нижнепермским эвапоритам Пермского Прикамья, а также губахинского кокса и кизелевского угля.

На территории Пермского края балансовые запасы карбонатного сырья для химической промышленности категории А+В+С1 составляют 414,2 млн т, категории С2 – 21,6 тыс. т. с добычей в 2023 г. было 1551 тыс. т. для производства кальцинированной соды [15].

Получение рассолов для выработки соды по аммиачной технологии в Пермском регионе закономерно связано с Верхнекамским месторождением солей. Подземная добыча рассолов в Верхнекамском регионе началась еще в XV в. Левобережная часть г. Березники характеризуется наличием техногенных отложений и культурных слоев возрастом более чем 200 лет. В границах современной части камского левобережья располагалась большая часть старых соль-заводов и промыслов (Ленвенского, Дедюхинского, Зырянского, Березниковского). На их базе с 1883 г. и начинает работать Березниковский содовый завод [16]. Далее, в период советской индустриальной модернизации народного хозяйства, на месте бывших соль-заводов и старого содового производства быстрыми темпами был создан мощный индустриальный узел химической промышленности, включавший азотно-туковый завод им К. Ворошилова, Березниковскую ТЭЦ-4, новый содовый, анилино-красочный (химический) заводы [17].

Для Прикамского содового производства характерны типичные отраслевые экологические проблемы. За более чем вековой период промышленного производства здесь накоплены и складированы миллионы кубометров шламов. Специализированные шламонакопители в Березниках представлены действующим объектом площадью около 200 га, а также выведенным из производства накопителем площадью около 90 га. Следует отметить, что объекты содового производства в Пермском крае расположены в непосредственной близости от крупнейшего регионального водоема – Камского водохранилища. Учитывая высокую миграционную способность хлоридов – одного из главных компонентов шламов – такое расположение предъявляет особые требования к обеспечению безопасной эксплуатации накопителей отходов. В связи с этим техническое состояние специализированных хранилищ отходов является предметом пристального контроля хозяйствующих субъектов и органов государственного надзора.

Вместе с этим за пределами действующих промышленных предприятий расположен техногенный объект, созданный в советский период как резервный приемник промышленных стоков и временное хранилище отходов для близлежащих предприятий, в том числе содового завода. Этот техногенный объект представляет собой пруд площадью около 17 га, заполненный осадками сточных вод. Он был сформирован в устье р. Толыч после переноса русла реки и строительства ограждающей дамбы (рис. 1) в рамках защитных мероприятий при строительстве Камской ГЭС в пятидесятых годах прошлого столетия [18]. В настоящий момент водоем с накопленным осадком является бесхозяйственным, он расположен за пределами промышленных территорий. В него больше не осуществляется сброс сточных вод или промышленных отходов, однако вместе с этим не производятся его техническое обслуживание и контроль. Накопленные в пруде осадки могут представлять опасность для окружающей среды.

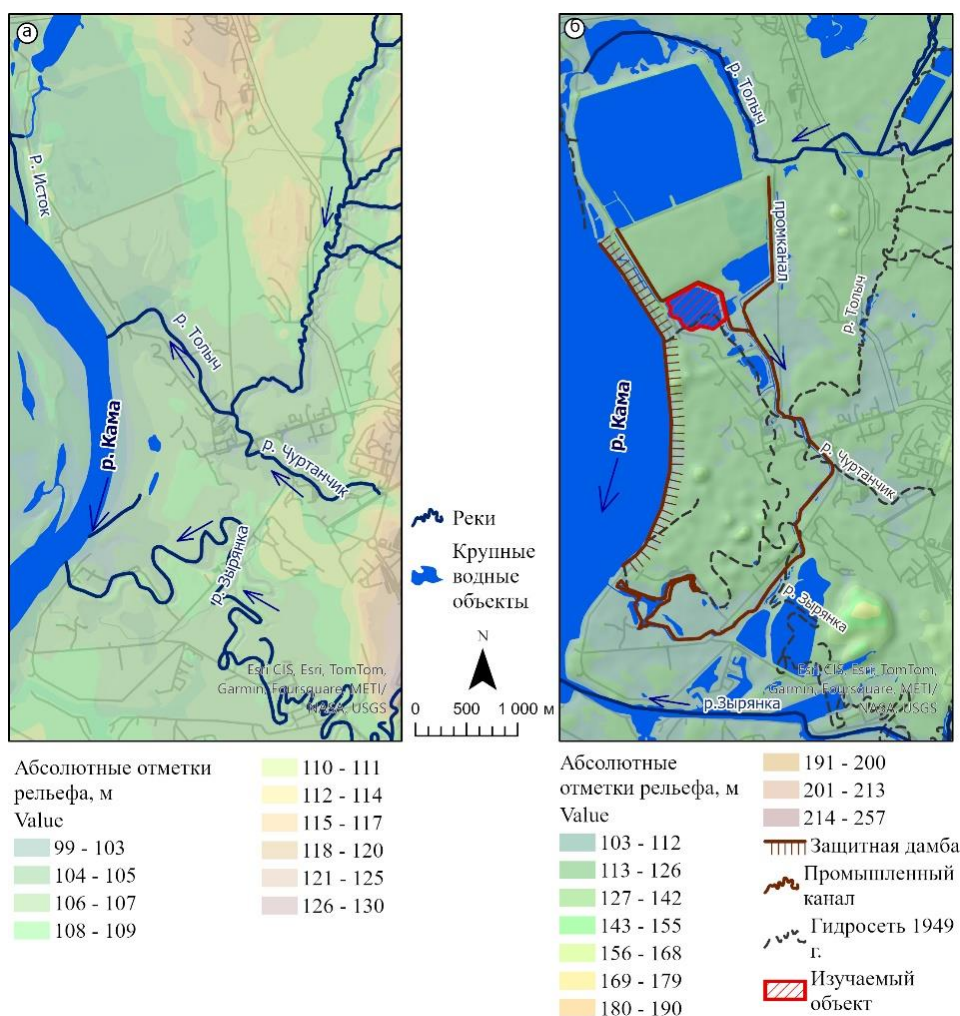


Рис. 1. Структура гидросети территории исследования до (а) и после (б) наполнения Камского водохранилища

Согласно действующему законодательству, в связи с нахождением техногенного объекта в пределах земель городского поселения, а также в границах водоохранной зоны, консервация отходов на месте невозможна. Кроме того, специфика накопленных отходов (соленая щелочная среда) не способствует разложению отходов при консервации объекта. В связи с этим рациональным способом ликвидации накопленных отходов является утилизация и переработка накопленных осадков. При этом в отличие от стационарных производственных объектов размещения отходов объект настоящего исследования характеризуется широким разнообразием стоков и отходов, которые попадали в него на протяжении десятков лет. В связи с этим первым шагом к решению вопроса переработки накопленных отходов является достоверное установление его морфологических особенностей и вещественного состава.

Теория, материалы и методы исследования

Для установления особенностей состава твердой части накопленного осадка (шлама), произведен отбор проб с целью исследований минерального состава и гранулометрической характеристики частиц. Отбор осуществлялся с использованием запатентованного керноотборника (RU2762631C1, дата регистрации 21 декабря 2021 г.) [19], позволяющего извлечь ненарушенный керн на полную мощность залегания осадка. В результате полевых работ удалось выделить и послойно описать отдельные слои накопленных шламов (рис. 2).

Описание осадка	Мощность слоя, м	Глубина подошвы, м	Колонка
Рыхлая паста кремового цвета	0,3	0,3	
Плотная, однородная паста белого цвета	0,3	0,6	
Паста серого цвета с нечеткими прослойками коричневого и красного цвета	0,3	0,9	
Плотная однородная паста светло-серого цвета	0,3	1,2	
Плотная однородная паста светло-серого цвета	0,4	1,6	
Плотная однородная паста темно-серого цвета	0,5	2,1	
Плотная однородная паста серого цвета	0,4	2,5	
Четкое разделение на слои черного, коричневого цвета через 1 см	0,2	2,7	
Белая паста с прослойками рыжего цвета	0,2	2,9	

Рис. 2. Описание слоев осадка по данным полевого обследования, 2024

В пробах каждого слоя осадка был проанализирован гранулометрический, минеральный и химический состав. Анализ минерального состава шлама был выполнен методом рентгеновской дифракции с применением рентгеновского порошкового дифрактометра D2 Phaser («Bruker»). Химический состав твердой фазы осадков определялся на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре последовательного типа действия S8 Tiger («Bruker»). Ситовый метод был использован для определения гранулометрического состава осадка.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате гранулометрического анализа было выявлено, что в большинстве слоев исследованной колонки преобладают мелкие частицы размерностью менее 0,1 мм. Исключение составляет третий от поверхности слой, преимущественно сложенный более крупными частицами (свыше 1 мм) (рис. 3).

Минеральный состав накопленных отходов характеризуется доминированием аутигенных карбонатных минералов, в первую очередь кальцита, а также доломита и соды. Вместе с ними в большинстве слоев широко распространены галит и гипс (см. рис. 3). Указанная минеральная ассоциация свидетельствует о происхождении осадка вследствие осаждения минеральной фазы из насыщенного рассола с высоким содержанием кальция и натрия. Наряду с широко распространенными аутигенными минералами

ми, в ряде слоев зафиксировано присутствие терригенных минеральных компонентов (глинистых минералов, полевых шпатов, кварца).

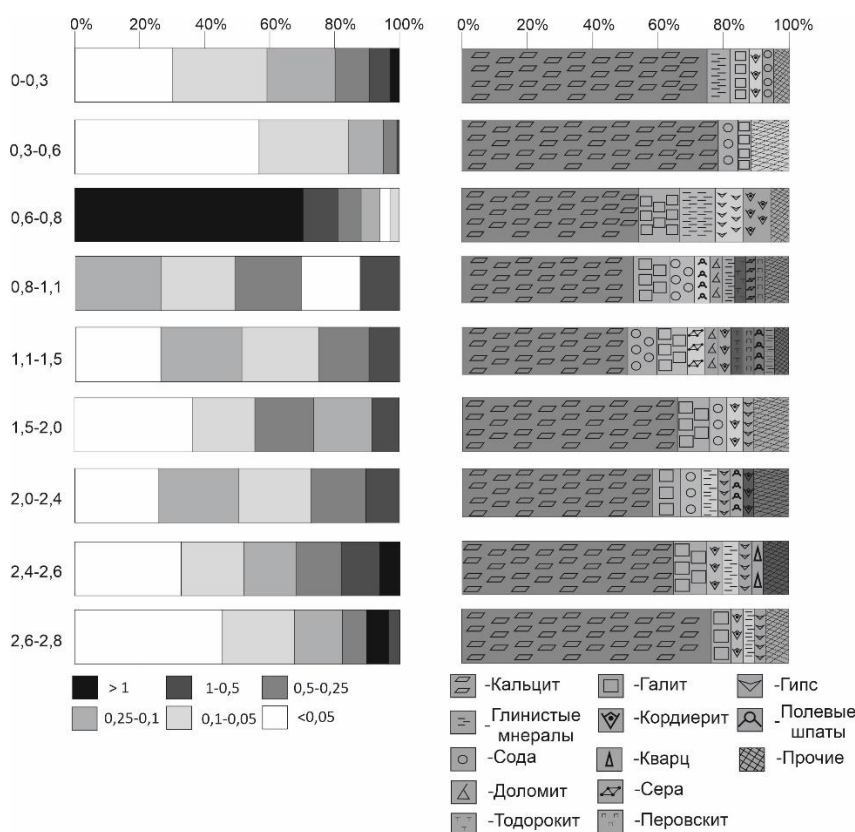


Рис. 3. Совмещенная диаграмма гранулометрического и химического состава осадка

Химический состав осадков, по данным РФА, характеризуется преобладанием во всех слоях оксида кальция. Массовое содержание СаО в слоях изменяется от 30 до 60 масс. %. Существенными компонентами химического состава осадков являются также оксиды магния (1,3 – 5,5 %), серы (2,3 – 4,3 %), железа (1,1 – 6,1 %), кремния (1,1 – 8,8 %) и хлор (6,9 – 10,6 %). Результаты изучения химического состава осадков в высокой степени коррелируют с установленными особенностями минерального состава образцов.

Заключение

Изученный пруд заполнен слоем осадка, мощность которого по исследованной колонке составила 2,8 м. Вещественный состав осадка, характеризующийся преобладанием тонкодисперсных карбонатов кальция и магния, в высокой мере схож со шламами, образующимися при использовании аммиачно-солевого способа производства соды. Состав осадков определяет основные риски взаимодействия отложений изученного пруда с окружающей средой. Главным образом, к ним относятся высокая соленость поровых рассолов с доминированием хлорид-анионов и щелочная pH, которые могут приводить к нарушению естественных гидрохимических условий. Указанные проблемы являются характерными для складирования отходов производства кальцинированной соды в регионах с гумидным типом климата.

Одним из мероприятий по снижению экологической нагрузки является исследование вещественного состава накопленных в бесхозных шламохранилищах отходов с целью последующей разработки рациональных способов их утилизации и переработки. В результате проведенных работ установлено, что в отличие от специализированных производственных шламонакопителей с гомогенным осадком, объект настоящего ис-

следования характеризуется слоистостью и неоднородностью состава отдельных слоев. Учитывая вышесказанное, для разработки методики рекультивации заброшенного шламохранилища требуется достоверное установление свойств осадка в плане и разрезе на всей площади пруда. С учетом изменчивости состава станут возможны подбор и адаптация методов утилизации осадка, в том числе на основе ранее разработанных методов технологий обращения с отходами содового производства.

Список литературы

1. Островский Ю.В., Заборцев Г.М., Черноок В.А., 2018. Десульфатизация соды-сырца месторождения «Михайловское» Алтайского края. *Ползуновский вестник*, № 3, С. 116-119.
2. Helvacı C., Pirajno F., Ünlü T., Dönmez C., Şahin M. (eds). 2019. Turkish Trona Deposits: Geological Setting, Genesis and Overview of the Deposits. *Mineral Resources of Turkey. Modern Approaches in Solid Earth Sciences*, Vol 16. Springer, Cham, 749 p.
3. Сибирская содовая компания. URL: <https://sibsoda.ru> (дата обращения: 31.01.2025).
4. U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2024; U.S. Geological Survey: Reston, VA, USA, 2024. URL: <https://pubs.usgs.gov> (дата обращения: 31.01.2025).
5. Березниковская содовая компания. URL: <https://www.bsz.ru/> (дата обращения: 31.01.2025).
6. *Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Карбонатные породы*. Москва: ФГУ ГКЗ, 2007, 37 с.
7. Блинов С.М., Меньшикова Е.А., 2019. Использование отходов предприятий Пермского края. *Вестник Пермского университета. Геология*, Т. 18, № 2. С. 179-191. DOI: 10.17072/psu.geol.18.2.179.
8. Красильникова С.А., Блинов С.М., Красильников П.А., Белкин П.А. 2021. Мировой опыт использования отходов производства соды. *Экология и промышленность России*. Т. 25, № 12. С. 48-53.
9. Худойбердиев Ф.И., Умиров Ф.Э., 2022. Изучение химических свойств дистиллерной жидкости – отхода производства кальцинированной соды. *International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences*, Т. 3, № 2, С. 4-8. DOI 10.24412/2181-144X-2022-2-4-8.
10. Mikheev P.B., Pankov N.N., Ushakova E.S., Baklanov M.A., Drobinina E.V., Puzik A.Yu., Volkova M.A., 2024. On the Criteria for the Assessment of the State of Polluted Freshwater Ecosystems with an Example of the Small River on the Eastern Edge of Europe (Perm Krai, Russia). *Pollution*, Vol. 11, No, P. 51-68. DOI: 10.22059/poll.2024.374565.2317.
11. Cichosz M., Kielkowska U., Skowron K., Kiedzik Ł., Łazarski S., Szkudlarek M., Kowalska B., Żurawski D., 2022. Changes in Synthetic Soda Ash Production and Its Consequences for the Environment. *Materials*, Vol. 15, P. 4828. DOI: 10.3390/ma15144828.
12. Effler S. W., Matthews D. A., 2003. Impacts of a Soda Ash Facility on Onondaga Lake and the Seneca River, NY. *Lake and Reservoir Management*, Vol. 19, No. 4, P. 285-306. DOI: 10.1080/07438140309353940.
13. Likus-Cieślak J., Pietrzykowski M., 2021. The Influence of Sedimentation Ponds of the Former Soda “Solvay” Plant in Krakow on the Chemistry of the Wilga River. *Sustainability*, Vol. 13, P. 993. DOI: 10.3390/su13020993.
14. Strzebońska M., Kostka A., 2021. Geochemical State of Wilga River Environment in Kraków (Poland) – Historical Aspects and Existing Issues. *Minerals*, Vol. 11, P. 908. DOI: 10.3390/min11080908.
15. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2023 году». URL: <https://priroda.permkrai.ru> (дата обращения: 31.01.2025).

16. Ушакова Е.С., 2024. *Экогеохимия водных экосистем урбанизированных территорий Северного Прикамья*: дис. ... канд. геол.-мин. наук. Пермь: ПГНИУ, 187 с.
17. Сидорова И.Т., 2010. Становление химической промышленности в Верхнемкамье на примере Березниковского химического комбината. *Вестник государственного университета просвещения. Серия: История и политические науки*, № 2, С. 80-83.
18. Ушакова Е.С., Белкин П.А., Дробинина Е.В., 2023. Особенности осадкообразования и экологический статус промышленного канала сточных вод. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, Т. 334, № 6, С. 75-91.
19. Пат. 2762631 С1 Российская Федерация. *Способ отбора донных осадков для экологических исследований и устройство для его осуществления* / В.В. Ваганов, Р.Д. Перевощиков, Е.А. Меньшикова, Е.С. Ушакова; патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Пермский государственный национальный исследовательский университет". № 2021118330, заявл. 21.06.2021; опубл. 21.12.2021., Бюл. № 36.

References

1. Ostrovskii Yu.V., Zabortsev G.M., Chernook V.A., 2018. Desul'fatizatsiya sody-syrtsa mestorozhdeniya "Mikhailovskoe" Altaiskogo kraia [Desulfatization of raw soda from the Mikhailovskoye deposit in the Altai Krai]. *Polzunovskii vestnik*, № 3, P. 116-119.
2. Helvacı C., Pirajno F., Ünlü T., Dönmez C., Şahin M. (eds). 2019. Turkish Trona Deposits: Geological Setting, Genesis and Overview of the Deposits. *Mineral Resources of Turkey. Modern Approaches in Solid Earth Sciences*, Vol 16. Springer, Cham, 749 p.
3. Sibirskaya sodovaya kompaniya [Siberian soda company]. URL: <https://sibsoda.ru> (data obrashcheniya: 31.01.2025).
4. U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2024; U.S. Geological Survey: Reston, VA, USA, 2024. URL: <https://pubs.usgs.gov> (дата обращения: 31.01.2025).
5. Bereznikovskaya sodovaya kompaniya [Bereznikovskaya soda company]. URL: <https://www.bsz.ru/> (data obrashcheniya: 31.01.2025).
6. Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu Klassifikatsii zapasov mestorozhdenii i prognoznykh resursov tverdykh poleznykh iskopaemykh [Methodological recommendations for the implementation of the classification of storage and forecasting reserves of solid mineral resources. Karbonate ores]. *Karbonatnye porody*. Moscow: FGU GKZ, 2007, 37 p.
7. Blinov S.M., Men'shikova E.A., 2019. Ispol'zovanie otkhodov predpriyatii Permskogo kraia [Use of production facilities of Perm Krai]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*, Vol. 18, № 2. P. 179-191. DOI: 10.17072/psu.geol.18.2.179.
8. Krasil'nikova S.A., Blinov S.M., Krasil'nikov P.A., Belkin P.A. 2021. Mirovoi opyt ispol'zovaniya otkhodov proizvodstva sody [World experience in the use of soda production waste]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. Vol. 25, № 12. P. 48-53.
9. Khudoiberdiev F.I., Umirov F.E., 2022. Izuchenie khimicheskikh svoystv distillernoi zhidkosti – otkhoda proizvodstva kal'tsinirovannoi sody [Study of chemical properties of distillery liquid – waste of calcined soda production]. *International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences*, Vol. 3, № 2, P. 4-8. DOI 10.24412/2181-144X-2022-2-4-8.
10. Mikheev P.B., Pankov N.N., Ushakova E.S., Baklanov M.A., Drobinina E.V., Puzik A.Yu., Volkova M.A., 2024. On the Criteria for the Assessment of the State of Polluted Freshwater Ecosystems with an Example of the Small River on the Eastern Edge of Europe (Perm Krai, Russia). *Pollution*, Vol. 11, No, P. 51-68. DOI: 10.22059/poll.2024.374565.2317.
11. Cichosz M., Kielkowska U., Skowron K., Kiedzik Ł., Łazarski S., Szkudlarek M., Kowalska B., Żurawski D., 2022. Changes in Synthetic Soda Ash Production and Its Consequences for the Environment. *Materials*, Vol. 15, P. 4828. DOI: 10.3390/ma15144828.

12. Effler S. W., Matthews D. A., 2003. Impacts of a Soda Ash Facility on Onondaga Lake and the Seneca River, NY. *Lake and Reservoir Management*, Vol. 19, No. 4, P. 285-306. DOI: 10.1080/07438140309353940.
13. Likus-Cieřlik J., Pietrzykowski M., 2021. The Influence of Sedimentation Ponds of the Former Soda “Solvay” Plant in Krakow on the Chemistry of the Wilga River. *Sustainability*, Vol. 13, P. 993. DOI: 10.3390/su13020993.
14. Strzebońska M., Kostka A., 2021. Geochemical State of Wilga River Environment in Kraków (Poland) – Historical Aspects and Existing Issues. *Minerals*, Vol. 11, P. 908. DOI: 10.3390/min11080908.
15. Doklad "O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Permskogo kraya v 2023 godu" [Report "On the state and conditions of the surrounding environment of Perm Krai in 2023"]. URL: <https://priroda.permkrai.ru> (data obrashcheniya: 31.01.2025).
16. Ushakova E.S., 2024. Ekogeokhimiya vodnykh ekosistem urbanizirovannykh territorii Severnogo Prikam'ya [Ekogeochemics of water ecosystems urbanized territories of North Prikamy]: dis. ... kand. geol.-min. nauk. Perm': PGNIU, 187 p.
17. Sidorova I.T., 2010. Stanovlenie khimicheskoi promyshlennosti v Verkhnekam'e na primere Bereznikovskogo khimicheskogo kombinata [Setting up chemical industry in Verkhnekamsk on the example of Bereznikovsky chemical plant]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta prosveshcheniya. Seriya: Istoriya i politicheskie nauki*, № 2, P. 80-83.
18. Ushakova E.S., Belkin P.A., Drobinina E.V., 2023. Osobennosti osadkoobrazovaniya i ekologicheskii status promyshlennogo kanala stochnykh vod [Features of fallouts formation and ecological status of industrial wastewater canal]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, Vol. 334, № 6, P. 75-91.
19. Pat. 2762631 S1 Rossiiskaya Federatsiya. Sposob otbora donnykh osadkov dlya ekologicheskikh issledovaniy i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya [Method of selecting bottom sediments for ecological research and designing them for their conservatio] / V.V. Vaganov, R.D. Perevoshchikov, E.A. Men'shikova, E.S. Ushakova; patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Permskii gosudarstvennyi natsional'nyi issledovatel'skii universitet". № 2021118330, zayavl. 21.06.2021; opubl. 21.12.2021., Byul. № 36.