



Научная статья

УДК 544.774+66.04

<https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-1-51-60>



Исследование свойств песков Прибайкалья

А.А. Яковлева^а, Е.А. Гусева^б, М.В. Константинова^с

^{а-с}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме. Целью представленной работы стало детальное определение тепловых свойств песков Байкальского региона (Россия) и установление их зависимости от геолого-минералогических характеристик для оценки возможности использования этого сырья в пищевой отрасли. Объектами исследования служили пробы песков, отобранные на юго-западном побережье озера Байкал, предметом исследования являлся минералогический состав песка, его гранулометрический состав и теплоемкость. Минеральный состав проб песков и их кристаллическая структура исследовались при помощи метода рентгенографического фазового анализа. Для гранулометрической оценки песков использовался стандартный метод ситового анализа. Средняя теплоемкость проб песков определялась методом смешивания. На основании анализа полученных рентгенограмм был определен минералогический состав изучаемых проб. Установлено, что в их составе преобладает минерал кварц – он содержится в пробах в количестве 40–60 %. В разных пробах доля таких минералов, как альбит и анортотлаз, составляла 15–30 %. Менее 5 % в каждой пробе приходилось на долю диккита и индиалита. Антофиллит присутствовал только в одной пробе в количестве около 9 %. Результаты определения гранулометрического состава показали, что в большинстве проб можно выделить фракцию, на долю которой приходится 70–90 %. Только в пробе из города Слюдянки примерно в равных количествах присутствовали фракции разной крупности. Для этой пробы была установлена зависимость теплоемкости от гранулометрического состава. Для прочих проб различие определенных значений теплоемкости хорошо коррелировало с их минералогическим составом. Результаты проведенных исследований и их анализ позволяют сделать вывод, что с точки зрения высокой теплоемкости наиболее привлекательны пески из Слюдянки и Байкальска. Для использования в качестве термоаккумулирующего вещества наиболее подходящим является песок с размером зерен от 0,125 до 0,25 мм. Даная фракция является преобладающей в песке города Байкальска.

Ключевые слова: песок, рентгенография, гранулометрия, минералогический состав, теплоемкость

Для цитирования: Яковлева А.А., Гусева Е.А., Константинова М.В. Исследование свойств песков Прибайкалья // Науки о Земле и недропользование. 2023. Т. 46. № 1. С. 51–60. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-1-51-60>.

Original article

Studying Baikal region sand properties

Ariadna A. Yakovleva^а, Elena A. Guseva^б, Marina V. Konstantinova^с

^{а-с}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The study is aimed at a more detailed determination of the thermal properties of Baikal region sands and establishment of their dependence on geological and mineralogical characteristics in order to assess the possibility of using this raw material in the food industry. The objects of the study are sands sampled on the southwestern coast of Lake Baikal. The subject of the study is the mineralogical composition of sand, its grain size composition and heat capacity. The mineral composition of sand samples and their crystal structure were studied using the method of X-ray phase analysis. A standard sieve analysis method was used for granulometric estimation of sands. The average heat capacity of sand samples was determined by the mixing method. Based on the analysis of the obtained X-ray diffraction patterns, the mineralogical composition of the studied samples was determined. It was found that quartz predominates in their composition since its percentage in samples amounts to 40–60 %. The proportion of such minerals as albite and anorthoclase is 15–30 % in different samples. Less than 5 % in each sample accounts for dickite and indialite. The presence of the mineral of anthophyllite has been found only in one sample in the amount of about 9 %. The results of granulometric composition determination show that a fraction, which accounts for 70–90 %, can be isolated in most samples. The sample from the town of Slyudyanka was the only one where the fractions of different sizes were present in approximately equal amounts. For this sample, the dependence of heat capacity on the grain size was determined. In other samples, the difference in certain heat capacity values correlated well with their mineralogical composition. The results of the conducted studies and their analysis

© Яковлева А.А., Гусева Е.А., Константинова М.В., 2023



allow to conclude that Slyudyanka and Baikalsk sands are the most attractive sands in terms of high heat capacity. The sand with the grain size from 0.125 to 0.25 mm is found to be the most suitable for the use as a thermal storage medium. This fraction is predominant in the sand of the town of Baikalsk.

Keywords: sand, X-ray diffraction pattern, grain size analysis, mineralogical composition, heat capacity

For citation: Yakovleva A.A., Guseva E.A., Konstantinova M.V. Studying Baikal region sand properties. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2023;46(1):51-60. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-1-51-60>.

Введение

Песок является уникальным природным материалом, ему присущи разнообразные свойства, которые делают его применение практически повсеместным¹. К основным сферам использования песка относятся промышленное, гражданское и дорожное строительство, металлургия, стекольная промышленность [1, 2], что предполагает огромные объемы его добычи. Это не может не отражаться на окружающей среде: происходят нарушения баланса биосферы, изменения ландшафта [3–6].

Такие качества песка, как химическая инертность, неизменность состава и высокая механическая прочность, находят применение в медицине (физиолечение, спа-процедуры, курортные лечебницы). Лечение горячим песком (псаммотерапия) приобрело особую популярность в последнее десятилетие, хотя свои истоки имеет в далекой древности [7, 8].

Песок является уникальным фильтрующим материалом, способным поглощать и задерживать вредные вещества. Благодаря этому он активно используется при фильтрации воды практически во всех производственных процессах, причем очистке подвергается не только питьевая вода, но также и технологические и отработанные сточные воды² [9–16].

Особо следует отметить такое свойство песка, как способность сохранять тепло длительное время. Теплопроводность и теплоемкость песка таковы, что после нагревания он способен сохранять изотермичность рабочего пространства без резких перепадов температуры³.

Цель настоящего исследования заключалась в определении теплоемкости некоторых проб песков байкальского региона и установлении зависимости тепловых свойств от геолого-минералогических характеристик, а также в попытке оценить возможность применения песков в пищевой промышленности в качестве теплоаккумулирующего материала. Как известно, все свойства песка, в том числе и тепловые, зависят от его состава – как минералогического, так и гранулометрического⁴ [17]. В связи с этим для достижения поставленной цели было проведено комплексное исследование нескольких проб песков, отобранных в различных местах юго-запада Прибайкалья.

Стоит заметить, что найти результаты систематических и обобщающих исследований в литературе не удалось, поскольку пески Сибири пока еще мало изучены с этой точки зрения. Представляется, что попытка нестандартного подхода к возможности применения местного сырья может оказаться интересной и полезной.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования явились пробы песка с берегов озера Байкал. Часть образцов песка была отобрана вблизи населенных пунктов юго-западного Прибайкалья – поселка Ангасолка и городов Байкальска и Слюдянки. Пески из бухты Обутеихи и с побережья острова Хужир представляют образцы тех рекреационных зон, где активно развивается туризм и формируются зоны отдыха. Выбор

¹ Рыбьев И.А. Строительное материаловедение: учебник. В 2 ч. Ч. 2. М.: Юрайт, 2023. 429 с.

² Краснова Т.А., Юстратов В.П., Позняковский В.М. Экспертиза питьевой воды. Качество и безопасность: учеб. пособие. М.: Делли принт, 2011. 278 с.

³ Бабичев А.П. [и др.]. Физические величины: справочник / ред. И.С. Григорьев, Е.З. Мейлихов. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1231 с.

⁴ Verma A. Evaluation of sea sand and river sand properties and their comparison: report. Taiwan: National Dong Hwa University, 2015. 35 p.



мест отбора predetermined целью исследования и позволяет оценить разнообразие минералогического состава песков, его связь с теплоемкостью и возможность использования того или иного песка в качестве термоаккумулирующей среды в сфере общественного питания. Месторасположение точек отбора проб песка представлено на рис. 1.

Предметом исследования являлся минералогический состав песка, его гранулометрический состав и теплоемкость.

Минеральный состав проб песков и их кристаллическую структуру исследовали при помощи метода рентгенографического фазового анализа на дифрактометре Bruker D8 Advance с расшифровкой полученных результатов с использованием программы Toras 3.0 [18].

Для гранулометрической оценки песков использовали стандартный метод ситового

анализа. Метод заключается в просеивании исследуемых проб песка на установке с набором стандартных сит, имеющих различный диаметр ячеек, и последующем взвешивании полученных фракций. В ходе опытов было определено относительное содержания фракций, содержащих частицы в более узком диапазоне размеров.

Среднюю теплоемкость проб песков определяли методом смешивания⁵. Для этого использовали адиабатический калориметр и термометр Бекмана, который обеспечивает высокую точность измерения температуры. Метод смешивания предполагает приведение в соприкосновение двух сред: рабочей жидкости и исследуемого вещества. В качестве рабочей жидкости обычно используют воду комнатной температуры, потому что ее нагревание в ходе опыта легко контролировать.

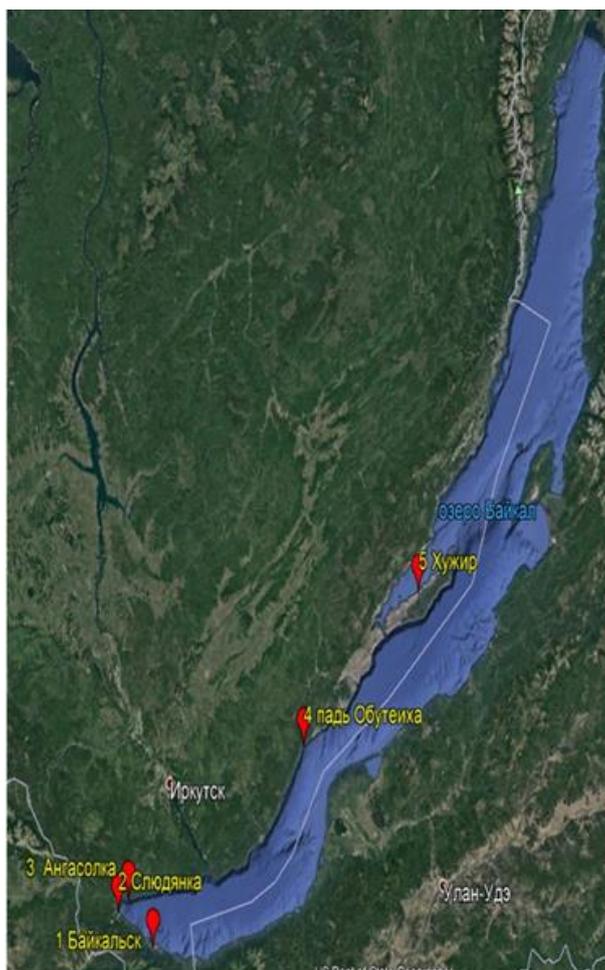


Рис. 1. Расположение точек отбора проб песка
Fig. 1. Location of sand sampling points

⁵ Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур: учебник / пер. с англ. М.: Мир, 2002. 461 с.



Исследуемое вещество обычно предварительно нагревают до известной температуры, помещая в термостат в специальном контейнере. Отсчет показаний термометра Бекмана, находящегося в рабочей жидкости, начинается с момента погружения в нее контейнера с навеской исследуемого вещества (песка). Его среднюю теплоемкость можно вычислить по уравнению теплового баланса, важной составляющей которого является экспериментально определенный перепад температуры.

Для обеспечения достоверности экспериментальных результатов при проведении ситового анализа и термохимических опытов проводили несколько параллельных измерений. В процессе математической обработки экспериментальных данных использовали стандартную программу Excel, в которой высокое значение коэффициента аппроксимации гарантирует достоверность результатов.

Результаты исследования и их обсуждение

Пески юго-западного побережья озера Байкал внешне имеют различие по цвету, размеру зерен, форме частиц [19, 20].

Рентгеноструктурный анализ позволяет

определить минералогический состав песков по результатам расшифровки дифрактограмм (рис. 2). Результаты рентгенографического фазового анализа показывают наличие в песках таких типичных минералов, как кварц (SiO_2), полевые шпаты (альбит ($\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$) и анортоклаз ($(\text{Na},\text{K})[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$)), а также некоторых других минералов. В песке поселка Ангасолка, кроме того, в значительном количестве присутствует антофиллит ($(\text{Mg},\text{Fe})_7(\text{OH})_2 \cdot [\text{Si}_8\text{O}_{22}]$).

При этом соотношения минералов в песках существенно различаются, несмотря на то, что места отбора проб сосредоточены в достаточно небольшой области. Очевидно, в этом проявляется известное в геологии положение о том, что разнообразие песков обеспечивается процессами физического выветривания горных пород, переноса, отложений и переотложений продуктов разрушения [21, 22].

Во многих исследуемых песках кварц является преобладающей составляющей. Для кристаллов кварца характерно поперечное удлинение, различный цвет, чаще молочно-белые или серые окраски, и это обнаруживается визуально в песках, отобранных в пади Обутеихе и городах Байкальске и Слюдянке.

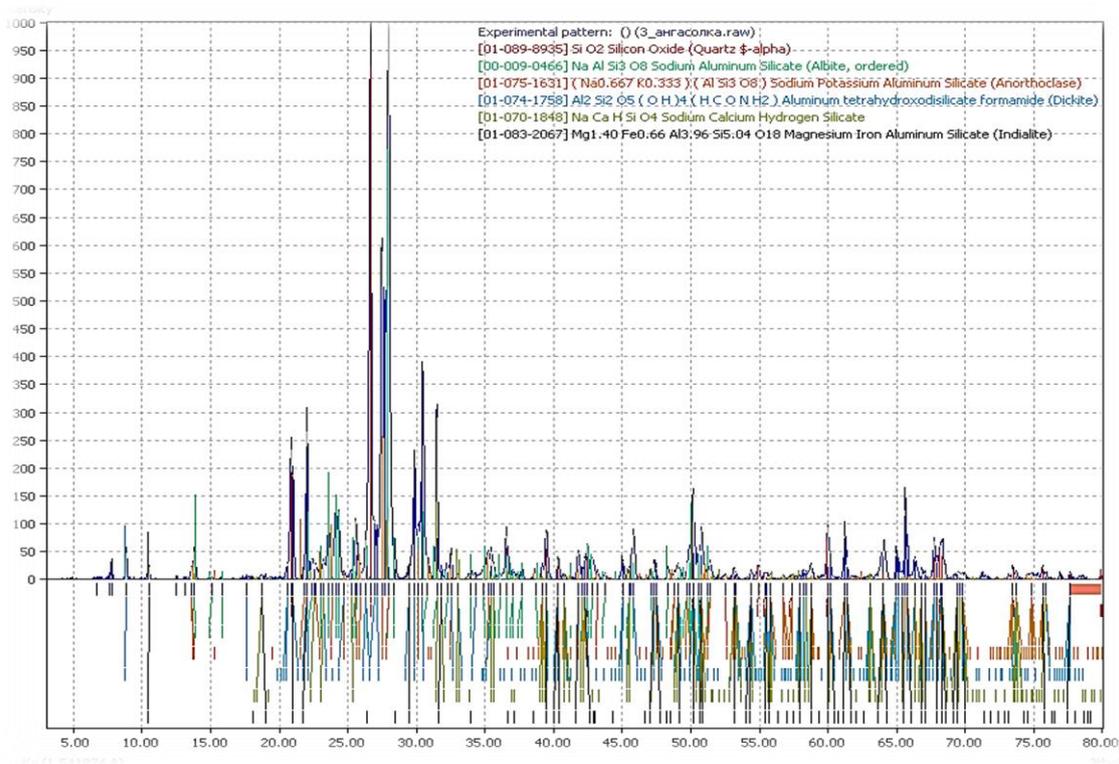


Рис. 2. Дифрактограмма песков пос. Ангасолка
Fig. 2. X-ray diffraction pattern of sands of the Angasolka settlement



Для большинства песков характерно стремление к однородности и монодисперсности с разной степенью зернистости. В табл. 1 представлен анализ фракционного состава и показана доля фракций с некоторым преобладающим размером – средним размером, который обычно определяется по максимуму на кривой распределения.

Исключением является разнородный песок из Слюдянки, в котором крупнозернистые фракции с размером частиц более 0,25 мм составляют 58 % (рис. 3).

Гранулометрический состав проб песка влияет на сферу его использования, например, для фильтрации воды используется песок средней зернистости [23]. Из рассмотрен-

ных, на наш взгляд, наиболее приемлемыми для этого случая могут быть пески, отобранные в городе Слюдянке и в пади Обутеихе.

Экспериментально определенные значения теплоемкости этих, а также остальных песков представлены в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что полученные значения теплоемкости исследуемых песков коррелируют со справочными данными⁶, представленными в табл. 3.

Самым теплоемким оказывается песок из Слюдянки, следом идут близкие по значениям теплоемкости пески, взятые в Обутеихе и Байкальске. Три этих пробы песка по результатам рентгенографического фазового анализа содержат максимальное количество кварца,

Таблица 1. Оценка гранулометрических соотношений
Table 1. Estimation of granulometric ratios

Место отбора	Содержание фракции с преобладающим размером, масс. %	Средний размер, мм
Слюдянка	21	≥ 2
Байкальск	75	0,188
Обутеиха	83	0,75
Хужир	72	0,094
Ангасолка	93	0,094

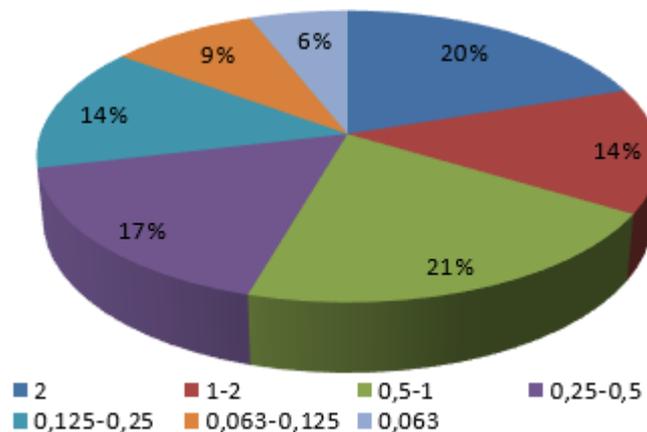


Рис. 3. Гранулометрический состав песка г. Слюдянки
В условных обозначениях приведена зернистость песка, мм
Fig. 3. Granulometric composition of sand from Slyudyanka town
The legend shows the grain size of the sand, mm

Таблица 2. Теплоемкость песков
Table 2. Heat capacity of sands

Место отбора	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)
Слюдянка	772,5
Байкальск	704,5
Обутеиха	700,5
Хужир	670
Ангасолка	592

⁶ Бабичев А.П. [и др.]. Физические величины: справочник / ред. И.С. Григорьев, Е.З. Мейлихов. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1231 с.



которое колеблется в диапазоне от 55 до 60 масс. %. Как следует из табл. 3, в которой приведены справочные значения теплоемкостей чистых минералов, именно кварц обеспечивает высокие значения теплоемкости рассматриваемых песков.

Теплоемкость песков из поселков Ангасолка и Хужир существенно ниже. Полученные данные можно объяснить также исходя из минерального состава. Распределение базовых минералов (кварца и полевых шпатов) в песках приведено в табл. 4.

На примере песка из Слюдянки было проведено определение зависимости теплоемкости от размеров зерен. Термохимические опыты проводились для каждой фракции отдельно. Было установлено, что при использовании песка, представленного разными фракциями, их теплоемкость различается и снижается с ростом размеров зерна (табл. 5).

Для фракционированного песка из Слюдянки характерны более высокие значения теплоемкости, суммарно дающие около 890 Дж/(кг·К). В литературе встречаются такие значения теплоемкости песков, причем в боль-

шинстве случаев при этом отсутствуют какие-либо уточняющие данные по дисперсности и геохимическому составу. Расхождение результатов, очевидно, связано с влиянием поверхностных эффектов. Поскольку теплоемкость является функцией микросостояний системы⁷, то для случаев тонкораздробленных частиц число таких микросостояний возрастает, то есть существенную роль приобретает дисперсность и величина удельной поверхности.

Дисперсные частицы, имея достаточно плотную регулярную упаковку, но большее межзеренное пространство (по сравнению с монокристаллами), обеспечивают материалу особые нехарактерные свойства [24–26]. Дробление приводит к росту межзеренной поверхности и увеличению числа частиц с энергетически не скомпенсированными связями, что сказывается на теплофизических качествах материала. По мере измельчения вещества возрастает значимость качества и числа микросостояний на поверхности таких частиц, и возможно, что этот эффект сказывается на полученных результатах.

Таблица 3. Теплоемкость некоторых минералов
Table 3. Heat capacity of some minerals

Минерал	Теплоемкость, Дж/(кг·К)
Кварц	750
Альбит	711
Анортоклаз	628

Таблица 4. Содержание основных минералов в песках пос. Ангасолка и Хужир
Table 4. The content of main minerals in the sands of Angasolka and Khuzhir settlements

Минерал	Место отбора и содержание минералов, масс. %	
	Ангасолка	Хужир
Кварц	23,23	35,81
Альбит	27,73	29,92
Анортоклаз	36,17	31,78

Таблица 5. Теплоемкость отдельных фракций песка г. Слюдянки
Table 5. Heat capacity of individual sand fractions of Slyudyanka town

Параметр	Значение			
Размер ячейки сита, мм	0,25–0,5	0,5–1	1–2	> 2
Содержание фракции в пробе, %	17	21	14	20
Теплоемкость, Дж/(кг·К)	973	982	839	773

⁷ Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур: учебник / пер. с англ. М.: Мир, 2002. 461 с.



Обнаруженный эффект свидетельствует о значимости степени полидисперсности при выборе песка для тех или иных целей. Очевидно, для использования в пищевой сфере необходимо иметь песок достаточно монодисперсный. Это обеспечит более мягкие условия теплообмена, а с практической точки зрения это удобно потому, что может исключить процессы расслаивания между крупными и мелкими частицами.

Выполненные исследования позволяют оценить возможность применения песка в пищевой промышленности в сфере общественного питания в качестве термоаккумулирующего вещества и попытаться понять, какой из них является для этого наиболее подходящим.

Заключение

На основе анализа результатов проведенных исследований могут быть сделаны следующие выводы:

1. Теплоемкость песка, используемого в качестве термоаккумулирующего вещества, должна быть достаточно высокой. С этой точки зрения привлекательны пески из Слюдянки и Байкальска.

2. С точки зрения гранулометрии наиболее подходящим является песок с размером зерен от 0,125 до 0,25 мм. При этом более мелкие фракции должны быть исключены во избежание пылеобразования. Песок из Байкальска наиболее удовлетворяет данным условиям: он содержит наибольшее количество такой фракции, является однородным, а кроме того, внешне привлекательным, что немаловажно для зрительного восприятия. Песок из Слюдянки относится к разнозерно-

вому типу, что может обеспечить разнообразие его применения после разделения на фракции (для фильтрования, термостатирования и т. п.).

3. Необходимо помнить о месторасположении и использовании песка без ущерба для природы. Для снижения неуправляемости антропогенного воздействия при организации отдыха должны соблюдаться государственные законы в области экологии и защиты окружающей среды. Под эти рассуждения попадает песок с острова Ольхон. Иная ситуация складывается в отношении песка из Ангасолки, где имеется достаточно масштабное производство щебня, песка и отсева на Ангасольском щебеночном заводе – филиале АО «Первая нерудная компания», однако для использования в пищевой промышленности, на наш взгляд, данный песок ценности не представляет.

4. Таким образом, песок Байкальска оказывается удовлетворительным со всех точек зрения: теплоемкость его достаточно высока, по гранулометрическому составу песок в меру однороден, и особых усилий при подготовке его к использованию не потребуется. Город Байкальск находится в доступном, привлекательном и перспективном для развития туризма месте и имеет развитую инфраструктуру. Доступность и гарантия длительного и устойчивого состояния данного сырьевого ресурса не вызывают сомнений. Свойства песка позволяют использовать его в течение неограниченного по продолжительности времени с учетом того, что специфика его применения в пищевой отрасли не предполагает заметного расходования.

Список источников

1. Chen Y. Construction: limit China's sand mining // *Nature*. 2017. Vol. 550. P. 457. <https://doi.org/10.1038/550457c>.

2. Al-Harthy A.S., Abdel Halim M., Taha R., Al-Jabri K.S. The properties of concrete made with fine dune sand // *Construction and Building Materials*. 2007. Vol. 21. Iss. 8. P. 1803–1808. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.05.053>.

3. Gelabert P.A. Environmental effects of sand extraction practices in Puerto Rico // *Managing Beach Resources in the Smaller Caribbean Islands: workshop papers (Mayagüez, 21–25 October 1996)*. Mayagüez: UPR Sea Grant Printers, 1997. P. 63–68.

4. Bayram A., Önsöy H. Sand and gravel mining impact on the surface water quality: a case study from the city of Tirebolu (Giresun Province, NE Turkey) // *Environmental Earth Science*. 2015. Vol. 73. P. 1997–2011. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3549-2>.

5. Brunier G., Anthony E.J., Goichot M., Provansal M., Dussouillez P. Recent morphological changes in the Mekong and Bassac river channels, Mekong delta: the marked impact of river-bed mining and implications for delta destabilization // *Geomorphology*. 2014. Vol. 224. P. 177–191. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.07.009>.

6. Khan S., Sugie A. Sand mining and its social impacts on local society in rural Bangladesh: a case study



of a village in Tangail district // *Journal of Urban and Regional Studies on Contemporary India*. 2015. Vol. 2. Iss. 1. P. 1–11.

7. Зинкевич-Евстигнеева Т.Д., Грабенко Т.М. Практикум по песочной терапии. СПб.: Речь, 2002. 217 с.

8. Сакович Н.А. Технология игры в песок. Игры на мосту. СПб.: Речь, 2006. 172 с.

9. Борисов Б.А., Егорова Е.Ю., Зайнуллин Р.А. Водоподготовка в производстве пищевых продуктов и напитков. СПб.: Профессия, 2015. 398 с.

10. Сомин В.А., Куртукова Л.В., Комарова Л.Ф. Умягчение подземных вод с использованием нового сорбента на основе бентонитовых глин // *Экология и промышленность России*. 2015. Т. 19. № 1. С. 30–33. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2015-1-30-33>.

11. Рябчиков Б.Е. Современная водоподготовка. М.: ДеЛи плюс, 2013. 679 с.

12. Буравлев В.О., Кондратюк Е.В., Кондратюк А.В., Комарова Л.Ф. Применение новых сорбционных материалов и оборудования для водоподготовки в пищевой промышленности // *Ползуновский вестник*. 2011. № 3/2. С. 188–191.

13. Almojjly A., Johnson D., Oatley-Radcliffe D.L., Hilal N. Removal of oil from oil-water emulsion by hybrid coagulation/sand filter as pre-treatment // *Journal of Water Process Engineering*. 2018. Vol. 26. P. 17–27. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.09.004>.

14. Almojjly A., Johnson D.J., Mandale S., Hilal N. Optimisation of the removal of oil in water emulsion by using ceramic microfiltration membrane and hybrid coagulation/sand filter-MF // *Journal of Water Process Engineering*. 2019. Vol. 27. P. 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.11.007>.

15. Cooper C., Burch R. An investigation of catalytic ozonation for the oxidation of halocarbons in drinking water preparation // *Water research*. 1999. Vol. 33. Iss. 18. P. 3695–3700. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00091-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00091-3).

16. Krasnova T.A., Timoshchuk I.V., Dugarjav J., Gorelkina A.K. The choice of sorbent for adsorption extraction of chloroform from drinking water // *Foods and Raw Materials*. 2017. Vol. 5. Iss. 2. P. 189–196. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-189-196>.

17. Bayram H.N., Uslu A.N., Bakkalbasi A.E., Kiran Yildirim D., Doner Z., Unluer A.T. Geochemical and mineralogical characteristics of beach sand sediments in South-

western Black Sea: an approach to heavy mineral placers // *EGU General Assembly 2020*. 2020. P. 9452. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-9452>.

18. Ревенко А.Г. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ природных материалов. Новосибирск: Наука, 1994. 262 с.

19. Гусева Е.А., Шнырова А.А. Определение физических свойств песков озера Байкал // *Молодежный вестник ИрГТУ*. 2019. Т. 9. № 3. С. 11–13 [Электронный ресурс]. URL: <http://xn--b1agjigi1ai.xn--p1ai/journals/2019/03/articles/02> (15.12.2022).

20. Гусева Е.А., Константинова М.В. Гранулометрический состав песка проб с юго-западного побережья Байкала // *Молодежный Вестник ИрГТУ*. 2019. Т. 9. № 2. С. 7–10 [Электронный ресурс]. URL: <http://xn--b1agjigi1ai.xn--p1ai/journals/2019/02/articles/01> (15.12.2022).

21. Кононов Е.Е. О происхождении песчаных толщ северного Прибайкалья // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2009. № 4. С. 23–27.

22. Тайсаев Т.Т. Эоловые процессы в Приольхонье и на о. Ольхон (Западное Забайкалье) // *Доклады Академии наук СССР*. 1982. Т. 265. № 4. С. 948–951.

23. Яковлева А.А., Гусева Е.А., До В.Т. Погложительные свойства песков рекреационных зон юго-западного побережья Байкала по отношению к некоторым агентам // *Биотехнология в интересах экологии и экономики Сибири и Дальнего Востока: материалы V Всерос. науч.-практ. конф. (г. Улан-Удэ, 25–27 июня 2018 г.)*. Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2018. С. 94–100.

24. Смирнов В.Г., Дырдин В.В., Манаков А.Ю., Федорова Н.И., Шикина Р.В., Исмагилов З.Р. Физико-химические и сорбционные свойства образцов природного угля различной степени метоморфизма // *Журнал прикладной химии*. 2019. Т. 92. № 10. С. 1320–1332. <https://doi.org/10.1134/S0044461819100116>.

25. Рощина Т.М., Шония Н.К., Тегина О.Я., Ткаченко О.П., Кустов Л.М. Химические свойства поверхности разновидностей кремнезема // *Журнал физической химии*. 2017. Т. 91. № 2. С. 217–226. <https://doi.org/10.7868/S004445371702025X>.

26. Атякшева Л.Ф., Добрякова И.В., Пилипенко О.С. Адсорбция β-галактозидазы на кремнеземных и алюмосиликатных адсорбентах // *Журнал физической химии*. 2015. Т. 89. № 3. С. 497–501. <https://doi.org/10.7868/S0044453715030036>.

References

1. Chen Y. Construction: limit China's sand mining. *Nature*. 2017;550:457. <https://doi.org/10.1038/550457c>.

2. Al-Harthy A.S., Abdel Halim M., Taha R., Al-Jabri K.S. The properties of concrete made with fine dune sand. *Construction and Building Materials*. 2007;21(8):1803–1808. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.05.053>.

3. Gelabert P.A. Environmental effects of sand extraction practices in Puerto Rico. In: *Managing Beach Resources in the Smaller Caribbean Islands: workshop papers*. 21–25 October 1996, Mayagüez. Mayagüez: UPR Sea Grant Printers; 1997, p. 63–68.

4. Bayram A., Önsoy H. Sand and gravel mining impact on the surface water quality: a case study from the city of

Tirebolu (Giresun Province, NE Turkey). *Environmental Earth Science*. 2015;73:1997–2011. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3549-2>.

5. Brunier G., Anthony E.J., Goichot M., Provansal M., Dussouillez P. Recent morphological changes in the Mekong and Bassac river channels, Mekong delta: the marked impact of river-bed mining and implications for delta destabilization. *Geomorphology*. 2014;224:177–191. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.07.009>.

6. Khan S., Sugie A. Sand mining and its social impacts on local society in rural Bangladesh: a case study of a village in Tangail district. *Journal of Urban and Regional Studies on Contemporary India*. 2015;2(1):1–11.



7. Zinkevich-Evstigneeva T.D., Grabenko T.M. *Sand therapy workshop*. Saint Petersburg: Rech'; 2002. 217 p. (In Russ.).
8. Sakovich N.A. *Sand game technology. Bridge games*. Saint Petersburg: Rech'; 2006. 172 p. (In Russ.).
9. Borisov B.A., Egorova E.Yu., Zainullin R.A. *Water treatment in food and beverages production*. Saint Petersburg: Professiya; 2015. 398 p. (In Russ.).
10. Somin V.A., Kurtukova L.V., Komarova L.F. Softening underground water using a new sorbent based on bentonite clays. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and Industry of Russia*. 2015;19(1):30-33. (In Russ.). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2015-1-30-33>.
11. Ryabchikov B.E. *Modern water treatment*. Moscow: DeLi plyus; 2013. 679 p. (In Russ.).
12. Buravlev V.O., Kondratyuk E.V., Kondratyuk A.V., Komarova L.F. Using new sorption materials and equipment for water treatment in food industry. *Polzunovskiy vestnik*. 2011;3/2:188-191. (In Russ.).
13. Almojjly A., Johnson D., Oatley-Radcliffe D.L., Hilal N. Removal of oil from oil-water emulsion by hybrid coagulation/sand filter as pre-treatment. *Journal of Water Process Engineering*. 2018;26:17–27. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.09.004>.
14. Almojjly A., Johnson D.J., Mandale S., Hilal N. Optimisation of the removal of oil in water emulsion by using ceramic microfiltration membrane and hybrid coagulation/sand filter-MF. *Journal of Water Process Engineering*. 2019;27:15-23. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.11.007>.
15. Cooper C., Burch R. An investigation of catalytic ozonation for the oxidation of halocarbons in drinking water preparation. *Water research*. 1999;33(18):3695-3700. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00091-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00091-3).
16. Krasnova T.A., Timoshchuk I.V., Dugarjav J., Gorelkina A.K. The choice of sorbent for adsorption extraction of chloroform from drinking water. *Foods and Raw Materials*. 2017;5(2):189-196. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-189-196>.
17. Bayram H.N., Uslu A.N., Bakkalbasi A.E., Kiran Yildirim D., Doner Z., Unluer A.T. Geochemical and mineralogical characteristics of beach sand sediments in South-western Black Sea: an approach to heavy mineral placers. *EGU General Assembly 2020*. 2020:9452. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-9452>.
18. Revenko A.G. *X-ray spectral fluorescence analysis of natural materials*. Novosibirsk: Nauka; 1994. 262 p. (In Russ.).
19. Guseva E.A., Shnyrova A.A. Determination of physical properties of Lake Baikal sands. *Molodezhnyi Vestnik IrGTU = Young Researchers Journal of ISTU*. 2019;9(3):11-13. Available from: <http://xn--b1agjigi1ai.xn--p1ai/journals/2019/03/articles/02> [Accessed 15th December 2022]. (In Russ.).
20. Guseva E.A., Konstantinova M.V. Particle size of sand samples from the south-western coast of Lake Baikal. *Molodezhnyi Vestnik IrGTU = Young Researchers Journal of ISTU*. 2019;9(2):7-10. Available from: <http://xn--b1agjigi1ai.xn--p1ai/journals/2019/02/articles/01> [Accessed 15th December 2022]. (In Russ.).
21. Kononov E.E. On the origin of sandy depths of the northern Transbaikalia. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2009;4:23-27. (In Russ.).
22. Taisaev T.T. Aeolian processes in the Olkhon region and on Olkhon Island (Western Transbaikalia). *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1982;265(4):948-951. (In Russ.).
23. Yakovleva A.A., Guseva E.A., Do V.T. Absorption properties of sands of recreational zones of the south-west Baikal in relation to some agents. In: *Biotehnologiya v interesakh ekologii i ekonomiki Sibiri i Dal'nego Vostoka: materialy V Vseros. nauch.-prakt. konf. = Biotechnology in terms of ecology and economy of Siberia and the Far East: materials of the 5th All-Russian scientific and practical conference*. 25–27 July 2018, Ulan-Ude. Ulan-Ude: East Siberian State University of Technology and Management; 2018, p. 94–100. (In Russ.).
24. Smirnov V.G., Dyrdin V.V., Manakov A.Y., Fedorova N.I., Shikina R.V., Ismagilov Z.R. Physicochemical and sorption properties of natural coal samples with various degrees of metamorphism. *Zhurnal prikladnoi khimii*. 2019;92(10):1320–1332. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0044461819100116>.
25. Roshchina T.M., Shoniya N.K., Tegina O.Ya., Tkachenko O.P., Kustov L.M. Physicochemical properties of the surfaces of silica species. *Zhurnal fizicheskoi khimii*. 2017;91(2):217-226. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S004445371702025X>.
26. Atyaksheva L.F., Dobryakova I.V., PiliPENKO O.S. Adsorption of β -galactosidase on silica and aluminosilicate adsorbents. *Zhurnal fizicheskoi khimii*. 2015;89(3):497-501. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0044453715030036>.

Информация об авторах / Information about the authors



Яковлева Ариадна Алексеевна,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры химии и биотехнологии им. В.В. Тутуриной,
Институт высоких технологий,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
ayakovistu@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5747-2864>

Ariadna A. Yakovleva,
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the Department of Chemistry and Biotechnology named after V.V. Tuturina,
School of High Technologies,
Irkutsk National Research Technical University,



Irkutsk, Russia,
ayakovistu@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5747-2864>



Гусева Елена Александровна,
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры материаловедения, сварочных и аддитивных технологий,
Институт авиационного строительства и транспорта,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
el.guseva@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8719-7728>

Elena A. Guseva,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Materials Science,
Welding and Additive Technologies,
Institute of Aircraft Construction, Mechanical Engineering and Transport,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
el.guseva@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8719-7728>



Константинова Марина Витальевна,
кандидат химических наук, доцент,
доцент кафедры материаловедения, сварочных и аддитивных технологий,
Институт авиационного строительства и транспорта,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
✉ mavikonst@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8533-0214>

Marina V. Konstantinova,
Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Materials Science,
Welding and Additive Technologies,
Institute of Aircraft Construction, Mechanical Engineering and Transport,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
✉ mavikonst@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8533-0214>

Вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.*

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 17.02.2023; одобрена после рецензирования 02.03.2023; принята к публикации 13.03.2023.

The article was submitted 17.02.2023; approved after reviewing 02.03.2023; accepted for publication 13.03.2023.