

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

Научная статья

УДК 544.774+66.04

EDN: KVLBYX

DOI: 10.21285/2686-9993-2023-46-3-306-314



Характеристики прибрежных песков на территории Вьетнама

А.А. Яковлева^a, М.В. Константинова^b, Е.А. Гусева^c^{a-c}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме. Целью представленной работы стало детальное определение характеристик прибрежных песков Вьетнама для последующего изучения их сорбционной способности. Объектами исследования служили пробы песков, отобранные на побережье рек Хонг (вблизи столицы г. Ханой), Тхубон (провинция Куангнам), Тхачхан (провинция Куангчи) и на побережье моря (вблизи г. Хатинь). В этих местах находятся разнообразные промышленные и сельскохозяйственные предприятия, а также активно развивается туристический бизнес. Предметом исследования служили гранулометрические характеристики песка и его минералогический состав. Для изучения минералогического состава проб песков применялся метод рентгенографического фазового анализа, который на основании полученных рентгенограмм позволяет определить минералогический состав изучаемых проб. Установлено, что в их составе преобладает минерал α -кварц SiO_2 , а также содержится некоторое количество α -корунда Al_2O_3 и прочих примесей. Для исследования гранулометрических характеристик песков применялся стандартный метод ситового анализа. В работе были определены доли различных фракций проб песка, средний размер зерен и коэффициент однородности, насыпной вес и величина пористости, а также величина удельной поверхности песка.

Ключевые слова: песок, рентгенография, гранулометрия, минералогический состав, пористость, объемный вес

Для цитирования: Яковлева А.А., Константинова М.В., Гусева Е.А. Характеристики прибрежных песков на территории Вьетнама // Науки о Земле и недропользование. 2023. Т. 46. № 3. С. 306–314. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-3-306-314>. EDN: KVLBYX.

GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION
OF SOLID MINERALS, MINERAGENCY

Original article

Characteristics of coastal sands in Vietnam

Ariadna A. Yakovleva^a, Marina V. Konstantinova^b, Elena A. Guseva^c^{a-c}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The purpose of the presented work is a thorough determination of the characteristics of the coastal sands in Vietnam for the subsequent study of their sorption capacity. The objects of the study are sand samples collected on the banks of the Hong River (near the capital Hanoi), ThuBon (Quang Nam Province), Thachhan (Quangchi Province) and on the sea coast near the city of Hatin. Various industrial and agricultural enterprises are located in these places, in addition, the travel industry is actively developing here. The subject of the study is the granulometric characteristics of sand and its mineralogical composition. To study the mineralogical composition of sand samples the method of X-ray phase analysis is used, which allows to determine the mineralogical composition of the studied samples on the basis of the X-ray images obtained. It has been found that the mineral α -quartz SiO_2 prevails in their composition, and there is also a certain amount of α -corundum Al_2O_3 as well as other impurities. To study the granulometric characteristics of the sands, the standard method of sieve analysis is used. The proportions of various fractions of sand samples, the average grain size, uniformity coefficient, bulk weight, porosity, as well as the specific surface area have been determined.

Keywords: sand, radiography, granulometry, mineralogical composition, porosity, bulk weight



For citation: Yakovleva A.A., Konstantinova M.V., Guseva E.A. Characteristics of coastal sands in Vietnam. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie* = *Earth sciences and subsoil use*. 2023;46(3):306-314. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-3-306-314>. EDN: KVLBYX.

Введение

Разнообразные свойства песка, в том числе химическая инертность, неизменность состава и высокая механическая прочность, предопределили его широкое практическое использование. Подавляющее количество добываемого песка используется в таких областях, как стекольная промышленность, строительство дорог, металлургия, промышленное и гражданское строительство и пр.¹ [1]. В связи с огромными объемами добычи песка наблюдается неизбежное нарушение баланса биосферы, необратимые изменения ландшафтов, что негативно сказывается на экологии в целом [2, 3].

Песок является одним из видов сыпучих отложений, различных по генезису, которые представляют собой обломки разнообразных минералов различной степени дисперсности и окатанности. Он является уникальным фильтрующим материалом, способным поглощать и задерживать вредные вещества. Благодаря этому песок активно используется при фильтрации воды во многих производственных процессах, очистке подвергается не только питьевая вода, но также и технологические и отработанные сточные воды [4–11].

В природе пески часто являются естественными барьерами, тормозящими распространение загрязнений, таких как загрязнения тяжелыми металлами, поверхностно-активными веществами, разнообразными продуктами жизнедеятельности человека, включая техногенные поллютанты, и позволяют сохранять первозданность природных экосистем. Во многом это определяется сорбционными и поглощающими свойствами песков, которые, в свою очередь, зависят от различных физико-химических характеристик песка: его состава, крупности, насыпного веса, пористости и пр. В связи с этим изучение песков представляет определенный научный интерес. Сорбционную способность песков можно отнести к их биосферной функции, поскольку они пред-

ставляют собой определенный барьер на пути загрязнителей, которые, попадая в грунтовые и поверхностные воды, тем самым вовлекаются в малый биологический и большой геологический круговороты. Это является актуальным, с одной стороны, для регионов, имеющих существенную техногенную нагрузку, а с другой – для тех рекреационных мест, в отношении которых особенно важно сохранение экологии. Все это определяет особое внимание к вопросу об изучении сорбционных характеристик песков.

Закономерности физико-химические явлений, протекающих на поверхности песка, в частности адсорбции, определяются различными факторами, среди которых важнейшее место занимают свойства песка, такие как минеральный состав, гранулометрические характеристики и пр. Ведущим фактором в формировании речных песчаных отложений является гидродинамика водного потока, определяющая взаимодействие его с руслом, по этой причине пески равнинных рек существенно отличаются от аллювия горных [12–14]. Морские пески образуются не только посредством выветривания, но являются и результатом течения рек, которое несет с собой песок, следствием ударов волн о прибрежные скалы, а также продуктом вулканической деятельности.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования явились пробы песка, отобранные в отдельных местах на территории Вьетнама (рис. 1).

Пробы песка 1 были отобраны на берегах реки Хонг вблизи столицы Вьетнама г. Ханой, песка 2 – на берегу реки Тхубон в провинции Куангнам, песка 3 – на морском пляже вблизи г. Хатинь, песка 4 – на берегу реки Тхачхан в провинции Куангчи. В этих местах находятся разнообразные промышленные и сельскохозяйственные предприятия, а также активно развивается туристический бизнес.

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



Рис. 1. Места отбора проб песка
Fig. 1. Sand sampling sites

Предметом исследования являлся минералогический состав песка, его гранулометрические характеристики.

Для достижения результата в работе использовалось несколько видов анализа и методов определения различных характеристик.

Рентгенофазовый анализ. Минералогический состав проб песка производили с использованием метода рентгенофазового анализа, суть которого состоит в дифракции рентгеновских лучей. По положению пиков на дифрактограмме, исходя из количества и высоты пика или площади пика, можно осуществить качественный и количественный минералогический анализ материала [15]. Дифрактограммы получены с использованием рентгеновского энергодисперсионного дифрактометра XRD-7000 X-ray (Shimadzu, Япония) при нормальных атмосферных условиях.

Ситовой анализ. Для оценки гранулометрических характеристик сыпучих материалов, как правило, используется стандартный ме-

тод ситового анализа. Этот метод состоит в том, что материал просеивается на ситах с различным диаметром ячеек. Массу полученных фракций определяли взвешиванием на аналитических весах. В ходе опытов определяется относительное содержание фракций, каждая из которых характеризуется более узким диапазоном размеров частицы.

Определение объемной массы. Расчет объемной массы производили по результатам определения массы точно отмеренного объема песка взвешиванием его на аналитических весах².

Определение пористости. Расчет пористости песков производили по результатам эксперимента по насыщению пробы песка водой. Совокупный объем пор принимали равным количеству воды, необходимому для насыщения песка³.

Определение удельной площади поверхности песка. С этой целью использовали метод адсорбции метиленового голубого из вод-

² Дмитриев В.В., Ярл Л.А. Методы и качество лабораторного изучения грунтов: учеб. пособие. М.: КДУ, 2008. 543 с.

³ Там же.



ного раствора. Данный метод основан на экспериментальном определении концентрации водного раствора метиленового голубого до адсорбции песком и после его адсорбции с последующим расчетом величины удельной площади поверхности песка^{4,5} [16]. Для определения концентрации метиленового голубого применяли спектрофотометрический метод с использованием спектрофотометра ПЭ-5400В отечественного производства.

Результаты исследования и их обсуждение

Минералогический состав. При проведении рентгенофазового анализа для всех проб были получены схожие по виду дифрактограммы. Это свидетельствует о том, что минералогические составы песков являются близкими. Данный анализ показал, что в составе песков превалирует α -кварц SiO_2 . Содержание α -корунда Al_2O_3 и прочих примесей гораздо меньше (табл. 1).

Чувствительность рентгенофазового анализа не позволяет выявить в составе проб песка природу примесей, содержащихся в этих образцах, поскольку их количество очень мало (меньше 1 %). Тем не менее на качественном уровне по виду дифрактограмм можно сказать, что минимальное количество

прочих примесей отмечено в пробе 3, максимальное – в пробе 4.

По содержанию α -кварца можно объединить схожие пески проб 1 и 3, в которых корунда и примесных минералов мало, а также пески проб 2 и 4, в которых их доля составляет около 10 %.

Гранулометрический состав. Известно, что на фильтрующую и сорбционную способность сыпучих материалов влияет удельная площадь поверхности, размеры зерен и коэффициент их однородности, пористость материалов.

Перед проведением эксперимента проводили квартование, а для последующей оценки распределения частиц по размерам применяли ситовой анализ⁶. Принцип ситового анализа состоит во взвешивании материала, остающегося на каждом сите после просеивания.

Использовали стандартный набор из шести сит с диаметром отверстий 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125 и 0,063 мм.

В табл. 2 в качестве примера представлены результаты ситового анализа для пробы песка 1, а также расчетные значения процентного содержания фракций.

На основании расчетных данных табл. 2 построен график распределения частиц песков по размерам (рис. 2).

Таблица 1. Характеристика кристаллического строения песков из Вьетнама
Table 1. Characteristics of the crystal structure of Vietnam's sands

Минерал	Формула минерала	Содержание минералов в песках, %			
		Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4
α -кварц	SiO_2	98,38	89,93	98,99	89,11
α -корунд и примеси	Al_2O_3	1,62	10,07	1,01	10,89

Таблица 2. Фракционный состав песка (проба песка 1)
Table 2. Fractional composition of sand (sand sample 1)

Характеристика	Фракция песка, мм					
	+2	+1-2	+0,5-1	+0,25-0,5	+0,125-0,25	+0,063-0,125
Масса фракции, г	30	36,5	73	394,5	291	19,5
Содержание фракции, %	3,55	4,32	8,64	46,71	34,46	2,31
Массовая доля частиц размером меньше ячейки, %	96,45	92,13	83,48	36,77	2,31	0

⁴ Вячеславов, А.С., Ефремова М. Определение площади поверхности и пористости материалов методом сорбции газов: методическая разработка. М.: МГУ, 2011. 65 с.

⁵ ГОСТ 13144-79. Графит. Методы определения удельной поверхности. М.: Изд-во стандартов, 1979. 7 с.

⁶ ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения зернового (гранулометрического) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ, 1979. 16 с.

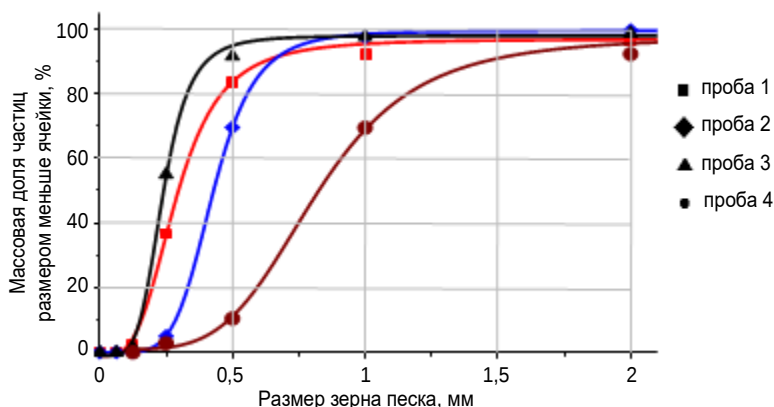


Рис. 2. Кривые распределения частиц по размерам
Fig. 2. Particle size distribution curves

Средний размер зерна песка d_{cp} соответствует размеру отверстий сита, через которое проходит около 50 % пробы⁷. Для определения коэффициента однородности r необходимо определить процент частиц размером от $2/3d_{cp}$ до $4/3d_{cp}$. Обработку результатов с целью расчета значения среднего размера зерна d_{cp} производили с использованием программы Origin Lab 8.5 [17].

Результат обработки показал заметный разброс расчетных характеристик. Наиболее дисперсными являются пробы песка 1 и 3 (средний размер зерна 0,241 и 0,294 мм соответственно). Наиболее крупнозернистой является проба 4, средний размер зерна в которой составляет 0,849 мм. Для пробы 2 средний размер зерна составляет 0,429 мм. Коэффициент однородности r для пробы 1 – 53,12, для пробы 2 – 72,24, для пробы 3 – 66,92, для пробы 4 – 61,37 %.

Представленные результаты говорят о том, что пробы песков из разных точек отбора обладают различными размерами зерен, а также отличаются по однородности.

Пористость. Поры в песке представляют собой как свободные пространства между зёрнами песка, так и пространства в самих песчинках. Общий объем всех пор характеризуется такой величиной, как пористость. Величина пористости определяется как отношение общего

объема пор в сыпучем материале ко всему объему материала, выраженное в процентах.

Определение пористости песков производили методом насыщения песка водой^{8,9}. Замеряли точный объем емкости (около 50 см³), наполняли ее песком вровень с краями. Точный объем воды определяли с использованием бюретки. Завершали насыщение после появления на поверхности тонкой бликующей на свету водной пленки. Общий объем затраченной воды соответствует объему всех пор.

Определение объемной массы. Величина объемной массы песка (насыпной массы или плотности) δ представляет собой массу единицы объема песка¹⁰:

$$\delta = (m_1 - m_0) / V,$$

где m_0 – масса пустого бьюкса, г; m_1 – масса бьюкса, заполненного песком, г; V – объем бьюкса, см³.

Объемную массу песков можно определять при рыхлом или при плотном сложении¹¹. При рыхлом сложении песков вычисляли объемную массу песка δ_{min} , то есть минимальное значение объемной массы, насыпая песок в бьюкс. Объемную массу песка при плотном сложении δ_{max} , то есть максимальное значение объемной массы, определяли, предварительно утрамбовывая песок в бьюксе.

В табл. 3 приведены объемные массы δ_{min} и δ_{max} при рыхлом и плотном сложении.

⁷ ГОСТ 29234.3-91. Пески формовочные. Метод определения среднего размера зерна и коэффициента однородности. М.: Стандартинформ, 2008. 5 с.

⁸ Смирнова А.Я., Бабкина О.А. Практическая гидрогеология: учеб. пособие. Воронеж: Издательско-полиграфический центр ВГУ, 2008. 44 с.

⁹ Гаврилова Н.Н., Назаров В.В. Анализ пористой структуры на основе адсорбционных данных: учеб. пособие. М.: РХТУ, 2015. 132 с.

¹⁰ Там же.

¹¹ Там же.



Таблица 3. Величины характеристик различных проб песка
Table 3. Values of various sand sample characteristics

Характеристика	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4
Средняя минимальная объемная масса, г/см ³	1,3	1,253	1,296	1,285
Средняя максимальная объемная масса, г/см ³	1,563	1,491	1,535	1,526
Пористость, %	50,192	50,14	50,474	50,077
Удельная площадь поверхности, м ² /г	1,003	0,99	1,017	0,956

Из табл. 3 видна закономерность изменения объемной массы песков:

для δ_{min} : $1 \sim 3 > 4 > 2$;

для δ_{max} : $1 > 3 > 4 > 2$.

Как при рыхлом, так и при плотном сложении наиболее дисперсные пески проб 1 и 3 имеют максимальную объемную массу.

При исследовании массообменных процессов имеет значение масса и высота слоя сорбента. В то же время разнообразие гранулометрических характеристик песка, в частности различный дисперсный состав песков и их насыпная плотность, допускает варьирование условий опытов.

Для определения удельной поверхности песков $S_{уд}$ были использованы фракции, имеющие самый большой выход, что было установлено с помощью результатов ситового анализа (см. табл. 2). Эксперименты по определению показателя $S_{уд}$ осуществляли в статическом режиме. В колбу емкостью 200 мл помещали навеску песка массой 3 г. Затем в нее наливали 50 мл раствора метиленового голубого. Исходная концентрация раствора составляла $2 \cdot 10^{-5}$ моль/дм³. Серии предварительных экспериментов по адсорбции метиленового голубого песками позволили определить, что для всех случаев при 298 К равновесие достигается примерно через 80–90 мин. Эти же эксперименты позволили установить предельную величину адсорбции и определить сорбционную емкость песка, что дало возможность рассчитать величину удельной поверхности¹².

Удельная поверхность для дисперсных гетерогенных систем с размером частиц 10^{-5} – 10^{-3} м обычно составляет 1–2 м²/г и увеличивается со снижением размера частиц¹³, с чем

хорошо согласуются полученные результаты.

Величины средней пористости всех проб близки.

В работе не изучалось строение отдельных зерен и не оценивалась морфология их поверхности. Зерна прибрежных песков с территории Вьетнама, вероятно, имеют много выступов, впадин и других дефектов структуры (шероховатости, трещины, поры, выщерблены, сколы), поэтому они характеризуются значительной пористостью, что приводит к большой удельной поверхности.

Заключение

1. Изучаемые пески состоят в основном из α -кварца SiO_2 и α -корунда Al_2O_3 . Об этом свидетельствуют результаты рентгенофазового анализа. Минералогические составы исследуемых проб песков схожи. Доля α -кварца значительно больше, чем α -корунда.

2. Анализ гранулометрического состава показал, что наиболее дисперсными являются пробы песка 1 и 3, наиболее крупнозернистой – проба 4.

3. Рассчитанные величины среднего размера зерна хорошо согласуются с экспериментальными данными ситового анализа.

4. Установлено, что величины средней минимальной и максимальной объемной массы имеют самое большое значение для случая наиболее дисперсных песков (пробы 1 и 3).

5. Наблюдается определенная корреляция гранулометрического состава с величиной пористости и удельной поверхности, однако значения этих характеристик достаточно близки, что, возможно, объясняется особенностями морфологии поверхности зерен, которая в данной работе не изучалась.

¹² Вячеславов, А.С., Ефремова М. Определение площади поверхности и пористости материалов методом сорбции газов: методическая разработка. М.: МГУ, 2011. 65 с.

¹³ Яковлева А.А. Коллоидная химия: учеб. пособие. М.: Юрайт, 2023. 209 с.



Список источников

1. Chen Y. Construction: limit China's sand mining // *Nature*. 2017. Vol. 550. P. 457. <https://doi.org/10.1038/550457c>.
2. Шмаль А.Г. Основы общей экологии: монография. Бронницы: МУП «БНТВ», 2012. 341 с.
3. Мамедов Н.М. Новые грани экологического познания // *Философские науки*. 2011. № 6. С. 89–102. EDN: NVVKXL.
4. Белова Т.П., Латкин А.С. Разработка сорбентов для решения экологических проблем Камчатки: Монография. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2006. 116 с.
5. Никашина В.А. Проницаемые геохимические барьеры как способ защиты окружающей среды от загрязнений. Природные сорбенты для решения экологических задач. Математическое моделирование и расчет процессов. Обзор // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2019. Т. 19. № 3. С. 289–304. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2019.19/746>. EDN: OXEVRP.
6. Нгуен Ч.Т., Яковлева А.А. Пески Вьетнама как объект коллоидно-химических исследований // *Проблемы земной цивилизации: материалы I Всерос. науч.-техн. конф. к 90-летию Н.М. Пожитного*. Иркутск: ИРНИТУ, 2018. С. 22–27.
7. Алампиева Е.В. Производственная деятельность человека и ее возможные последствия // *Вестник Томского государственного университета*. 2013. № 377. С. 163–166. EDN: ROVQFB.
8. Рахманин Ю.А. Актуализация методологических проблем регламентирования химического загрязнения окружающей среды // *Гигиена и санитария*. 2016. Т. 95. № 8. С. 701–707. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-8-701-707>. EDN: WKXHUR.
9. Buymova S.A., Bubnov A.G., Tsarev Yu.V., Semenov A.O. Assessment of potential risk and damage to population health from water and food chemical contamination // *Известия вузов. Серия Химия и химическая технология*. 2019. Т. 62. № 6. С. 119–130. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20196206.5816>. EDN: SRCRGS.
10. 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>. EDN: GITYAW.
11. 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. EDN: DKNHAJ.
12. Bayram H.N., Uslu A.N., Erdem Bakkalbasi A., Kiran Yildirim D., Döner Z., Ünlüer A.T. Geochemical and mineralogical characteristics of beach sand sediments in Southwestern Black Sea: an approach to heavy mineral placers // *EGU General Assembly Conference Abstracts*. 2020. P. 9452.
13. Yun T.S., Santamarina J.C., Ruppel C. Mechanical properties of sand, silt, and clay containing tetrahydrofuran hydrate // *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 2007. Vol. 112. Iss. B4. <https://doi.org/10.1029/2006JB004484>.
14. Kunhirunbowon S. A study on the properties of sand at Thap Yai Chiang mountain area for green sand casing // *Rajabhat Journal of Sciences, Humanities & Social Sciences*. 2017. Vol. 18. Iss. 2. P. 360–366.
15. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применение / ред. У. Жу, Ж.Л. Уанга, Т.П. Каминская; пер. с англ. М.: Лаборатория знаний, 2021. 601 с.
16. Кузьмина Е.В., Дмитриева Л.Р., Карасева Е.В., Колосницын В.С. О возможности применения метода сорбции красителей для определения удельной поверхности углеродных материалов для литий-серных аккумуляторов // *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2020. № 2. С. 29–34. <https://doi.org/10.31040/2222-8349-2020-0-2-29-34>. EDN: ELSDSM.
17. Яковлева А.А., Нгуен Ч.Т. Расчет среднего размера частиц и коэффициента однородности прибрежных песков, основанный на результатах ситового анализа // *Молодежный вестник ИрГТУ*. 2020. Т. 10. № 4. С. 69–75. EDN: UNFUKG.

References

1. Chen Y. Construction: limit China's sand mining. *Nature*. 2017;550:457. <https://doi.org/10.1038/550457c>.
2. Shmal' A.G. *Fundamentals of general ecology*. Bronnitsy: Municipal Unitary Enterprise "Bronnitsy news – Television"; 2012, 341 p. (In Russ.).
3. Mamedov N. New aspects of ecological cognition. *Filosofskie nauki = Russian Journal of Philosophical Sciences*. 2011;6:89-102. (In Russ.). EDN: NVVKXL.
4. Belova T.P., Latkin A.S. *Sorbent development for solving Kamchatka environmental problems*. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatka State Technical University; 2006, 116 p. (In Russ.).
5. Nikashina V.A. Permeable reactive barriers as a way to protect the environment from pollutions. natural sorbents for solving environmental problems. Mathematical modeling and calculation of processes. Review. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2019;19(3):289-304. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2019.19/746>. EDN: OXEVRP.
6. Nguen Ch.T., Yakovleva A.A. Vietnam's sands as an object of colloidal chemical research. In: *Problemy zemnoi tsivilizatsii: materialy I Vseros. naych.-tekhn. konf. k 90-letiyu N.M. Pozhitnogo = Problems of Earth Civilization: materials of the 1st All-Russian scientific and technical conference to the 90th anniversary of N.M. Pozhitny*. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2018, p. 22-27. (In Russ.).



7. Alampieva E.V. Production activity of the person and its possible consequences. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta = Tomsk State University Journal*. 2013;377:163-166. (In Russ.). EDN: ROBQFB.
8. Rakhmanin Yu.A. Actualization of methodological problems of reclamation of chemical pollutions on the environment. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and Sanitation*. 2016;95(8):701-707. (In Russ.). <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-8-701-707>. EDN: WKXHUR.
9. Buymova S.A., Bubnov A.G., Tsarev Yu.V., Semenov A.O. Assessment of potential risk and damage to population health from water and food chemical contamination. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Seriya Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya = ChemChemTech*. 2019;62(6):119-130. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20196206.5816>. EDN: SRCRGS.
10. 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>. EDN: GITYAW.
11. 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. (In Russ.). EDN: DKNHAJ.
12. Bayram H.N., Uslu A.N., Erdem Bakkalbasi A., Kiran Yildirim D., Döner Z., Ünlüer A.T. Geochemical and mineralogical characteristics of beach sand sediments in Southwestern Black Sea: an approach to heavy mineral placers. *EGU General Assembly Conference Abstracts*. 2020: 9452.
13. Yun T.S., Santamarina J.C., Ruppel C. Mechanical properties of sand, silt, and clay containing tetrahydrofuran hydrate. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 2007;112(B4). <https://doi.org/10.1029/2006JB004484>.
14. Kunhirunbowon S. A study on the properties of sand at Thap Yai Chiang mountain area for green sand casing. *Rajabhat Journal of Sciences, Humanities & Social Sciences*. 2017;18(2):360-366. (In Thai).
15. Zhou W., Wang Z.L. Scanning microscopy for nanotechnology: techniques and applications; 2007, 522 p. (Russ. ed.: *Rastrovaya elektronnaya mikroskopiya dlya nanotekhnologii. Metody i primeneniye*. Moscow: Laboratoriya znaniy; 2021. 601 p.).
16. Kuzmina E.V., Dmitrieva L.R., Karaseva E.V., Kolosnitsyn V.S. On the possibility of application of the method of sorption of dyes for determining the specific surface area of carbon materials for lithium-sulfur batteries. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN = Proceedings of the RAS UFA scientific centre*. 2020;2:29-34. (In Russ.). <https://doi.org/10.31040/2222-8349-2020-0-2-29-34>. EDN: ELSDSM.
17. Yakovleva A.A., Nguyen Ch.T. Calculation of average particle size and uniformity coefficient of coastal sands based on sieve analysis results. *Molodezhnyi vestnik IrGTU = Young Researchers Journal of ISTU*. 2020;10(4):69-75. (In Russ.). EDN: UNFUKG.

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>



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>

**Гусева Елена Александровна,**

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры материаловедения, сварочных и аддитивных технологий,
Институт авиамашиностроения 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>

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 15.08.2023; одобрена после рецензирования 05.09.2023; принята к публикации 21.09.2023.

The article was submitted 15.08.2023; approved after reviewing 05.09.2023; accepted for publication 21.09.2023.