ГЕОЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 622.411.52

DOI: <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-3-309-318>

Распределение пыли общераспространенных полезных ископаемых в атмосфере Байкальской природной территории

Ангелина Юрьевна Александрова*Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия,
aleksandrova.angelina1993@yandex.ru*

Резюме. На горных карьерах по добыче общераспространенных полезных ископаемых основным фактором, влияющим на безопасность, является наличие в атмосферном воздухе пылевого аэрозоля вмещающих пород. На основании этих факторов актуальной задачей является обеспечение экологической безопасности горных карьеров и сохранение здоровья населения. Ввиду большого количества факторов, влияющих на распределение пыли, одним из основных способов получения достоверной информации о данном процессе являются исследования по распределению пыли. На примере пяти месторождений по добыче общераспространенных полезных ископаемых горнодобывающих предприятий произведена оценка экологического риска исходя из статистических данных по контролю над деятельностью предприятия. Определен индекс загрязненности атмосферы и выявлены основные параметры распределения пылевых аэрозолей гранита, мигматита, мраморизованного известняка, офиокальцита, серпентинита, нефрита и чароита. Установлен ареал распределения пылевого аэрозоля для 5 карьеров, находящихся на Байкальской природной территории. Рассмотрены последствия пылевого загрязнения для экосистем.

Ключевые слова: каменная пыль, пылевой аэрозоль, общераспространенные полезные ископаемые, экологический ущерб, зоны распространения

Для цитирования: Александрова А. Ю. Распределение пыли общераспространенных полезных ископаемых в атмосфере Байкальской природной территории // *XXI век. Техносферная безопасность*. 2021. Т. 6, № 3. С. 309–318. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-3-309-318>.

GEO-ECOLOGY

Original article

Dust distribution from common minerals in the air of the Baikal Natural Territory

Angelina Yu. Aleksandrova*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia,
aleksandrova.angelina1993@yandex.ru*

Abstract. In mountain quarries, the main factor influencing safety is dust aerosol of host rocks in the air. Therefore, it is necessary to ensure the environmental safety of mining quarries and improve health of the population. Due to a large number of factors influencing the distribution of dust, one of the main ways to obtain reliable information about this process is to study the distribution of dust. On the example of five mining facilities, an environmental risk assessment was conducted using statistical data on the control over activities of the enterprise. The index of atmospheric pollution was determined and the main parameters of the distribution of dust aerosols of granite, migmatite, marbled limestone, ophiocalcite, serpentinite, jade and charoite were identified. The area of distribution of dust aerosol for five quarries located on the Baikal natural territory was established. The consequences of dust pollution for ecosystems were described.

Keywords: stone dust, common minerals, environmental damage, distribution zones, dust, rocks

© Александрова А. Ю., 2021

For citation: Aleksandrova A. Yu. Dust distribution from common minerals in the air of the Baikal Natural Territory. *XXI vek. Tekhnosferная bezopasnost' = XXI century. Technosphere Safety*. 2021;6(3):309-318. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-3-309-318>.

ВВЕДЕНИЕ

Общераспространенные полезные ископаемые (ОПИ) – это вид полезных ископаемых, включенных в специальный перечень. Согласно п. 6.1. Закона РФ «О недрах», указанные перечни формируются федеральными органами государственной власти в сфере регулирования отношений недропользования совместно с субъектами Российской Федерации¹. Этот вид полезных ископаемых является ключевым компонентом ресурсного потенциала как России в целом, так и ее регионов в отдельности.

Фонд действующих предприятий по добыче ОПИ России в 2020 г. составил 11 тыс. зарегистрированных юридических лиц, осуществляющих деятельность по добыче каменного сырья и разработке карьеров. Основную часть составляют карьеры песчано-гравийной смеси, строительного песка, легкоплавких глин – 8 тыс. объектов (76%). Переработка ОПИ осуществляется на одной тысяче (12%) обогатительных фабрик, установок и сортировок, имеющих в составе предприятий [1]. Основа ОПИ состоит в совокупности месторождений, содержащих одинаковый главный технологический тип полезного ископаемого, имеющих близкую форму его залегания и являющихся стабильным источником минерального сырья на рынке [2, 3]. С

точки зрения исследований Н. И. Еремина² [2], технологический тип полезного ископаемого характеризуется определенным минеральным составом и технологией переработки сырья. На горных карьерах по добыче ОПИ основным фактором, влияющими на безопасность, является наличие в атмосферном воздухе витающей каменной пыли вмещающих пород – пылевого аэрозоля. На основании этих факторов обеспечение экологической безопасности горных карьеров и сохранение здоровья населения становится актуальной задачей. Ввиду большого количества факторов, влияющих на распространение пыли, одним из основных способов получения достоверной информации о данном процессе служат исследования по распространению пыли [5, 6]. После анализа особенностей выделения пыли, дисперсного состава и расстояния переноса пыли от источников загрязнения была поставлена задача – построить зоны распространения пылевого аэрозоля ОПИ на примере разрабатываемых в Восточной Сибири карьеров гранита, мигматита, мраморизованного известняка, офиокальцита, серпентинита, нефрита и чароита. Исследованиями пылевых аэрозолей данных ОПИ по фракционному и дисперсному составу, по выделению наночастиц из основного состава пыли, по рентгенографическому и дифракционному анализу, по исследованию элементного и химического состава методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и по получению изображений пыли методом электронной микроскопии подтверждается наличие высокого экологического риска причинения вреда для здоровья человека и окружающей среды в целом [6–10].

¹О недрах: закон Российской Федерации от 21 февраля 1992 № 2395-1 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_343/ (27.08.2021);

Россия в цифрах: стат. сб. Федеральной службы государственной статистики, 2019. М.: Росстат, 2019. 549 с.

²Старостин В. И., Игнатов П. А. Геология полезных ископаемых: учебник для высшей школы. М.: Академический проект, 2006. 512 с.

Цель – исследование распределения пылевых аэрозолей, образующихся при добыче ОПИ, в окружающей среде Байкальской природной территории.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В соответствии с Федеральным законом РФ «Об охране озера Байкал»³ Байкальская природная территория (БПТ) – это территория, в состав которой входят оз. Байкал и его водоохранная зона, водосборная площадь в пределах территории Российской Федерации, особо охраняемые природные территории вокруг озера, а также прилегающая к оз. Байкал территория шириной до 200 км на запад и северо-запад от него. На БПТ выделяются следующие экологические зоны:

- центральная экологическая зона – территория, включающая в себя оз. Байкал с островами, а также водоохранную зону и особо охраняемые природные территории, прилегающие к оз. Байкал;

- буферная экологическая зона – территория за пределами центральной экологической зоны, включающая в себя водосборную площадь оз. Байкал в пределах территории РФ;

- экологическая зона атмосферного влияния – территория вне водосборной площади оз. Байкал в пределах территории РФ шириной до 200 км на запад и северо-запад от него, на которой расположены хозяйственные объекты, деятельность которых оказывает негативное воздействие на уникальную экологическую систему оз. Байкал.

В качестве объектов исследования, были выбраны пять месторождений, где добываются ОПИ на БПТ.

Объект исследования № 1. Месторождение гранитов и мигматитов «Ангасольское» находится в 53 км на юго-

восток от г. Шелехова и в 10 км на северо-восток от г. Слюдянки.

Объект исследования № 2. Месторождение мраморизованного известняка «Перевал» находится у юго-западной оконечности оз. Байкал, в 5 км к юго-востоку от г. Слюдянки Иркутской области, в 7 км к северо-востоку от железнодорожной станции «Слюдянка-1» и в 7,8 км от берега оз. Байкал на территории Слюдянского района Иркутской области.

Объект исследования № 3. Месторождение офиокальцита «Алзагайское» находится в 10 км на юго-восток от с. Олот Черемховского района Иркутской области, в 91,9 км от г. Черемхово и в 1,2 км от р. Алзагайка на территории Черемховского района Иркутской области, на правом склоне р. Олот.

Объект исследования № 4. Месторождение чароита «Сиреневый камень», участок «Старый». Месторождение «Сиреневый камень» находится по трем сторонам границ между Иркутской областью, Республикой Саха (Якутия) и Забайкальским краем. Участок «Старый» месторождения «Сиреневый камень» находится на левом борту истока руч. Дитмаровский на водоразделе, в 40 км к югу от д. Перевоз Иркутской области, в 60 км к юго-востоку от р. Чара и в 300 км к востоку от г. Олекминск Республики Саха (Якутия).

Объект исследования № 5. Месторождение нефрита «Оспинское». Одно из крупнейших промышленных месторождений нефрита в России. Находится в 50 км к северо-западу от п. Монды Тункинского района Республики Бурятия, в 3 км к северо-западу от д. Самарта и в 74,5 км к юго-востоку от п. Аршан на территории Тункинского района Республики Бурятия.

Добыча гранита, мигматита, мраморизованного известняка, офиокальцита, чароита, нефрита, серпентинита сопровождается выбросами пылевых аэрозолей, содержащих микро- и наночастицы, витающие в воздухе. Так, по данным проектов нормативов предельно-

³Об охране озера Байкал: федер. закон от 1 мая 1999 г. N 94-ФЗ.

допустимых выбросов на исследуемых предприятиях, осуществляющих добычу данных пород, ежегодно образуется от 4,5 до 84 т пылевых выбросов.

В основу работы положены расчеты, выполненные с использованием программного комплекса Golden Software Surfer и индекса загрязнения атмосферы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе добычи ОПИ в окружающую среду поступает от исследуемых объектов до 120 пылевых аэрозолей, распределяющихся по территории и осаждающихся на растительность и другие объекты окружающей среды.

Загрязнение атмосферы вредными веществами оценивают с помощью интегральных санитарно-гигиенических показателей – индекса загрязненности атмосферы (ИЗА)⁴. Он зависит от средней годовой концентрации вещества в атмосфере, его ПДК_{сс} и класса опасности (p_i) и рассчитывается по формуле

$$\text{ИЗА} = \sum_{j=1}^m \left(\frac{C_j}{\text{ПДК}_j} \right)^{p_i}, \quad (1)$$

где C_j – фактическая среднегодовая концентрация i -го вещества в атмосферном воздухе и его ПДК_{сс}; p_i – класс опасности загрязняющего вещества; m – число определяемых веществ.

На основе данных по результатам производственного контроля и проектов нормативов предельно-допустимых выбросов выполнен расчет значений показателя ИЗА для исследуемых объектов. Результаты расчета представлены в таблице.

В качестве стрессора выступает неорганическая силикатная пыль, выбрасываемая при добыче и переработке камня. Как видно

из приведенных данных, наибольший индекс загрязнения атмосферы наблюдается в районе действия Ангасольского месторождения гранитов и мигматитов и карьера «Перевал» по добыче мраморизованного известняка. Эти месторождения существенно загрязняют атмосферу.

Оценку площадного распределения экологического риска проводили с применением ГИС-технологий. Использование ГИС-технологии при картировании уровней пылевого воздействия открытых горных работ на окружающую среду дает возможность не только продемонстрировать на реальной топографической основе пространственное распределение концентраций загрязняющего вещества, но и вычислить площади участков, расположенных между изолиниями с различными их концентрациями, с целью определения рейтинга загрязненных площадей между различными уровнями загрязнения [11–13].

Схемы с указанием зон распространения пыли для Ангасольского месторождения гранитов и мигматитов, карьера «Перевал» по добыче мраморизованного известняка, Алзагайского месторождения офиокальцита, Оспинского месторождения нефрита и участка «Старый» месторождения «Сиреневый камень» по добыче чароита представлены, соответственно, на рис. 1–5. Общая карта зон распределения пыли исследуемых объектов изображена на рис. 6.

Как следует из расчета показателей ИЗА и графических изображений зон распространения выбросов каменной пыли, пыль распространяется на значительное расстояние и представляет экологический риск, несмотря на наличие пылеочистного оборудования и проведение пылеподавительных мероприятий на горных карьерах. В результате массовых выбросов в окружающую природную среду складывается неблагоприятная экологическая обстановка, имеющая тенденцию к дальнейшему ухудшению вследствие наращивания производ-

⁴Белых Л.И., Тимофеева С.С. Мониторинг экологической безопасности: практикум. Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2016. 153 с.

ственных мощностей, не подкреплённых эффективными мерами. Практически все технологические операции, такие как взрывные работы, бурение, экскавация,

транспортирование горной массы, складирование, выполняемые на карьерах, сопровождаются значительным пылеобразованием.

Индекс загрязнённости атмосферы предприятиями

The index of air pollution by enterprises

Показатель	ПДК, мг/м ³	Месторождение				
		Ангасольское	Карьер «Перевал»	Алзагайское	Оспинское	Сиреневый камень
		добыча				
		гранитов и мигматитов	мраморизованного известняка	офиокальцита	нефрита	чароита
Пыль неорганическая, 20–70% SiO ₂	0,8	1,94	2,02	1,12	1,54	1,46
ИЗА	–	14,26	16,09	2,74	7,13	6,07
Атмосфера	Сильно загрязнённая	Слабо загрязнённая	Загрязнённая	Атмосфера	Сильно загрязнённая	Слабо загрязнённая

Рис. 1. Графическое изображение зоны распределения пыли для Ангасольского месторождения гранитов и мигматитов

Fig. 1. Graphic representation of the dust distribution area for the Angasol granite and migmatite deposit

Рис. 2. Графическое изображение зоны распределения пыли для карьера «Перевал» по добыче мраморизованного известняка

Fig. 2. Graphic representation of the dust distribution area for the quarry "Pereval" extracting marbled limestone

Рис. 3. Графическое изображение зоны распределения пыли для Алзагайского месторождения офиокальцита

Fig. 3. Graphic representation of the dust distribution area for the Alzagai ophiocalcite deposit

Рис. 4. Графическое изображение зоны распределения пыли для Оспинского месторождения нефрита

Fig. 4. Graphic representation of the dust distribution area for the Ospin jade deposit

Рис. 5. Графическое изображение зоны распределения пыли для участка «Старый» месторождения «Сиреневый камень» по добыче чароита

Fig. 5. Graphic representation of the dust distribution area for the site "Old" of the charoite deposit "Lilac Stone"

Рис. 6. Общая карта зон распределения пыли исследуемых объектов на Байкальской природной территории

Fig. 6. The map of dust distribution areas on the Baikal Natural Territory

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как следует из расчета показателей ИЗА и графических изображений зон распределения концентраций каменной пыли, пыль распространяется в пределах буферной зоны и зоны влияния на БПТ и наносит ощутимый ущерб данной территории. В результате массовых выбросов в окружающую природную среду складывается неблагоприятная экологическая обстановка. Каменная пыль может оказывать воздействие на погоду, а также на глобальный и региональный климат. Частицы пыли становятся ядрами конденсации для формирования холодных и теплых облаков. Эта способность аэрозолей зависит от их размера, формы и состава, которые, в свою очередь, зависят от природы и происхождения. Кроме того, каменные аэрозоли могут влиять на облака и изменять их способность поглощать солнечную энергию, на рост облачных капель и кристаллов

льда, а, следовательно, и на количество и месторасположение осадков. Каменные аэрозоли поглощают и рассеивают солнечную радиацию. Они влияют на растительность, обуславливают снижение фотосинтетической активности, следовательно, потерю биомассы, необходимой растительным животным.

Дисперсный состав пыли существенно влияет на все показатели ее переноса в атмосферном воздухе. Радиус пылевого облака определяется размерами частиц и величиной скорости горизонтального и восходящего воздушного потока. Для того чтобы уменьшить зону распространения пыли, необходимо на источниках пылевых выбросов добиться укрупнения частиц путем комкуемости частиц пыли до более «тяжелого» размера, тем самым позволяя такой пыли оседать быстрее, не достигая больших расстояний, на прилегающей к карьерам территории.

Список источников

1. Крейтер В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Ч.1. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 332 с.
2. Еремин Н. И. Неметаллические полезные ископаемые. М.: МГУ, 2007. 459 с.
3. Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. 4 изд. М.: Недра, 1982. 669 с.
4. Александрова А. Ю., Тимофеева С. С. Пылевидная фракция гранитов, мигматитов, мраморизированных известняков, офиокальцитов как носитель наноразмерных частиц пыли // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2021. Т. 36. С. 3–15. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.36.3>.
5. Ahmad I., Khan M. I., Patil G. Nanotoxicity of Occupational Dust Generated in Granite Stone Saw Mill. International Conference on Nanoscience, Technology and Societal Implications (Bhubaneswar, 2011). 2011. Vol. 8. P. 1–6.
6. Aleksandrova A. Yu., Timofeeva S. S. Specificity of the charoite dust influence on human respiratory tracks // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 421, Issue 6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/6/062011>.
7. Ermolin M. S., Fedotov P. S. Separation and characterization of environmental nano- and submicron particles // Reviews in Analytical Chemistry. 2016. Vol. 35, no. 4. P. 185–199.
8. Chuen-Jinn Tsai, Tsai-Yin Lin. Particle Collection Efficiency of Different Impactor Designs // Separation Science and Technology. 2000. Vol. 35, no. 16. P. 2639–2650. <https://doi.org/10.1081/SS-100102360>.
9. Kato H., Nakamura A., Takahashi K., Kinugasa S. Accurate Size and Size-Distribution Determination of Polystyrene Latex Nanoparticles in Aqueous Medium Using Dynamic Light Scattering and Asymmetrical Flow Field Flow Fractionation with Multi-Angle Light Scattering // Nanomaterials. 2012. Vol. 2, no. 1. P. 15–30.
10. Nowack B., Bucheli T. D. Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment // Environmental Pollution. 2007. Vol. 150, no. 1. P. 5–22. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.006>.
11. Hong Geng, Heejin Hwang, Liu X., Dong S., Ro C.-U. Investigation of aged aerosols in size-resolved Asian dust storm particles transported from Beijing, China to Incheon, Korea using low-Z particle EPMA // Atmospheric Chemistry and Physics. 2013. Vol. 13, no. 10. P. 27971–28016. <https://doi.org/10.5194/acpd-13-27971-2013>.
12. Buzzea C., Pacheco I. I., Robbie K. Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity // Biointerphases. 2008. Vol. 2, no. 4. P. MR17–MR71.
13. Ray P. C., Yu H., Fu P. P. Toxicity and environmental risks of nanomaterials: challenges and future needs // Journal Environmental Science and Health, Part C. 2009. Vol. 27, no. 1. P. 1–35. <https://doi.org/10.1080/10590500802708267>.

References

1. Kreiter V. M. Prospecting and exploration of mineral deposits. Ch.1. Moscow: Gosgeoltekhizdat; 1960. 332 p. (In Russ.).
2. Eremin N. I. Non-metallic minerals. Moscow: Moscow State University; 2007. 459 p. (In Russ.).
3. Smirnov V. I. Geology of minerals. 4th ed. Moscow: Nedra; 1982. 669 p. (In Russ.).
4. Aleksandrova A. Yu., Timofeeva S. S. Dust-Fraction of Granites, Migmatites, Marbleized Limestones, Ophiocalcites as a Carrier of Nanosized Dust Particles. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle = The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences*. 2021;36:3-15. (In Russ.). <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.36.3>.
5. Ahmad I., Khan M. I., Patil G. Nanotoxicity of Occupational Dust Generated in Granite Stone Saw Mill. *International Conference on Nanoscience, Technology and Societal Implications*. 2011, Bhubaneswar. 2011;8:1-6.
6. Aleksandrova A. Yu., Timofeeva S. S. Specificity of the charoite dust influence on human respiratory tracks. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;421(6). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/6/062011>.
7. Ermolin M. S., Fedotov P. S. Separation and characterization of environmental nano- and submicron particles. *Reviews in Analytical Chemistry*. 2016;35(4):185–199.
8. Chuen-Jinn Tsai, Tsai-Yin Lin. Particle Collection Efficiency of Different Impactor Designs. *Separation Science and Technology*. 2000;35(16):2639–2650. <https://doi.org/10.1081/SS-100102360>.
9. Kato H., Nakamura A., Takahashi K., Kinugasa S. Accurate Size and Size-Distribution Determination of Polystyrene Latex Nanoparticles in Aqueous Medium Using Dynamic Light Scattering and Asymmetrical Flow Field Flow Fractionation with Multi-Angle Light Scattering. *Nanomaterials*. 2012;2(1):15-30.
10. Nowack B., Bucheli T. D. Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment // *Environmental Pollution*. 2007;150(1):5-22. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.006>.
11. Hong Geng, Heejin Hwang, Liu X., Dong S.,

Ro C.-U. Investigation of aged aerosols in size-resolved Asian dust storm particles transported from Beijing, China to Incheon, Korea using low- Z particle EPMA. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2013;13(10):27971–28016. <https://doi.org/10.5194/acpd-13-27971-2013>.

12. Buzea C., Pacheco I. I., Robbie K. Nanomaterials

and nanoparticles: Sources and toxicity. *Biointerphases*. 2008;2(4):MR17–MR71.

13. Ray P. C., Yu H., Fu P. P. Toxicity and environmental risks of nanomaterials: challenges and future needs. *Journal Environmental Science and Health, Part C*. 2009;27(1):1-35. <https://doi.org/10.1080/10590500802708267>.

Сведения об авторе

А. Ю. Александрова,

аспирант,

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1681-2105>

Вклад автора

Автор выполнил исследовательскую работу, на основании полученных результатов провел обобщение, подготовил рукопись к печати.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

*Автор прочитал и одобрил
окончательный вариант рукописи.*

*Поступила в редакцию 26.03.2021.
Одобрена после рецензирования 27.07.2021.
Принята к публикации 31.08.2021.*

Information about the author

Angelina Yu. Aleksandrova

Postgraduate student,

Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1681-2105>

Contribution of the author

The author carried out research work, based on the results obtained, she generalized, prepared the manuscript for publication.

Conflict of interests

The author declare no conflict of interests.

*Author have read and approved the final
manuscript.*

*The article was submitted 26.03.2021.
Approved after reviewing 27.07.2021.
Accepted for publication 31.08.2021.*