

Научная статья
УДК 691.168:658.567.1
doi:10.37614/2949-1215.2024.15.1.036

ВЛИЯНИЕ НЕФЕЛИНОВОГО ШЛАМА НА ПРОЧНОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Алёна Владимировна Ковалева¹, Любовь Тимофеевна Денисова²

^{1,2}*Институт цветных металлов, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия*

¹*a1en4k000@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9411-8928>*

²*antluba@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5593-5159>*

Аннотация

Изучены причины падения прочности при сжатии образцов асфальтобетона при добавлении к нему 5 мас. % нефелинового шлама Ачинского глинозёмного комбината в качестве минерального порошка. Показано, что при увеличении срока хранения нефелинового шлама на шламохранилище его пористость и площадь поверхности возрастает, что влечёт за собой высокую битумоёмкость и понижение прочности асфальтобетона, приготовленного с использованием 20-летнего нефелинового шлама.

Ключевые слова:

нефелиновый шлам, минеральный порошок, асфальтобетон, прочность при сжатии

Благодарности:

работа выполнена с помощью материалов и оборудования, предоставленных сотрудниками Сибирского федерального университета — С. Д. Кириком, И. Г. Енджиевской, Г. М. Зеер и М. А. Галкиным.

Для цитирования:

Ковалева А. В., Денисова Л. Т. Влияние нефелинового шлама на прочность асфальтобетона // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2024. Т. 15, № 1. С. 228–232. doi:10.37614/2949-1215.2024.15.1.036.

Original article

THE EFFECT OF NEPHELINE SLUDGE ON THE STRENGTH OF ASPHALT CONCRETE

Alena V. Kovaleva¹, Lyubov T. Denisova²

^{1,2}*Institute of Non-Ferrous Metals, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia*

¹*a1en4k000@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9411-8928>*

²*antluba@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5593-5159>*

Abstract

The reasons for the decrease in compressive strength of asphalt concrete samples when adding 5 wt. % nepheline sludge from the Achinsk alumina combine as a mineral powder have been studied. It is shown that with an increase in the shelf life of nepheline sludge in the sludge storage, its porosity and surface area increase, which entails a high bitumen capacity and a decrease in the strength of asphalt concrete prepared using 20-year-old nepheline sludge.

Keywords:

nepheline sludge, mineral powder, asphalt concrete, compressive strength

Acknowledgments:

the work was carried out with the help of materials and equipment provided by employees of the Siberian Federal University — S. D. Kirik, I. G. Yendzhievskaya, G. M. Zeer and M. A. Galkin.

For citation:

Kovaleva A. V., Denisova L. T. The effect of nepheline sludge on the strength of asphalt concrete // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2024. Vol. 15, No. 1. P. 228–232. doi:10.37614/2949-1215.2024.15.1.036.

Введение

В современном мире остро стоит проблема вторичного использования отходов производства, которые за последние десятилетия скапливались в огромном количестве в отвалах и шламохранилищах [1]. Нефелиновый шлам, являющийся основным отходом производства АО «РУСАЛ Ачинск» (АГК), перерабатывают в портландцемент, но это позволяет утилизировать только 30 % отходов, тогда как остальная часть направляется в шламонакопитель. В настоящее время в шламоотвалах АГК уже

находится около 0,5 млрд т нефелинового шлама, количество которого будет возрастать и загрязнять окружающую среду [2–4]. Проблема его утилизации или повторного использования является актуальной по сей день. Необходимо найти новое применение нефелинового шлама в производстве строительных материалов, в частности, асфальтобетона. Именно производство строительных материалов потребляет самое большое количество сырья, в том числе исчерпаемого, и их замена на техногенные отходы является приоритетной задачей.

Прочность асфальтобетона — одна из самых важных его характеристик, она характеризует свойство асфальтобетона сопротивляться разрушению под действием механических напряжений. При добавлении 5 мас. % нефелинового шлама в смесь в качестве минерального порошка прочность при сжатии асфальтобетона снижалась на 16 %.

Целью исследования являлось определение причины снижения значения прочности при сжатии асфальтобетона с добавлением нефелинового шлама.

Материалы и методы

В работе использовался нефелиновый шлам возраста 20 лет. Его фазовый состав определён методом РФА (рентгеновский дифрактометр D8-ADVANCE Bruker). Для изготовления образцов асфальтобетона использовались щебень (фракция 5–10 мм), песок (класс 2) и битум (плотный А), соответствующие ГОСТ 9128-2013. Полученные образцы спрессовывались в цилиндрических формах (пресс испытательный гидравлический ИП-100) согласно ГОСТ 12801-98 вместе с нефелиновым шламом, добавленным в количестве 5 мас. %. Микроскопический анализ нефелинового шлама проводили на растровом электронном микроскопе HITACHI TM1000, а исследование размера его пор и площади поверхности — на анализаторе пористости Micromeritics ASAP 2420.

Результаты и их обсуждение

Результаты рентгенофазового анализа нефелинового шлама возраста 20 лет представлены на рис. 1. По причине большого количества фаз с низким процентом содержания было принято решение рассматривать только содержание белита и кальцита, так как именно они играют решающую роль в асфальтобетонной смеси.

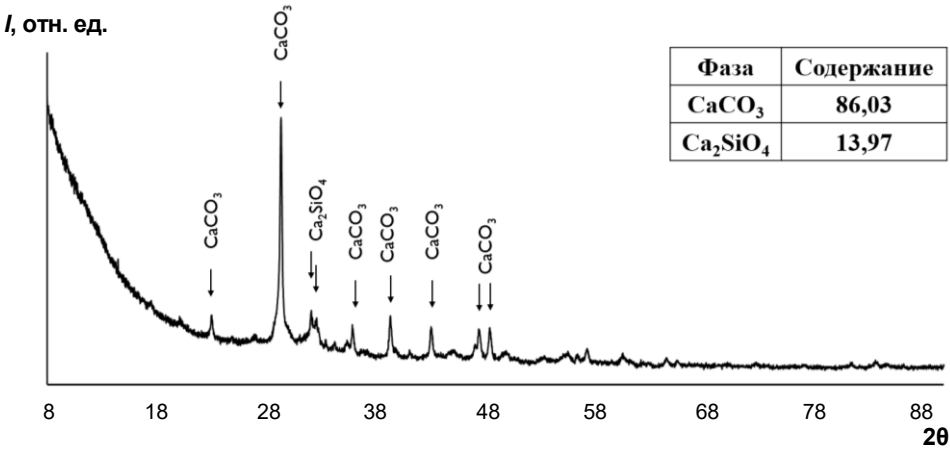


Рис. 1. Рентгенофазовый анализ нефелинового шлама

Было получено две партии образцов асфальтобетона — без добавления минерального порошка, то есть нефелинового шлама (партия 1), и с добавлением 5 мас. % минерального порошка (партия 2). Полученные образцы подвергали тестам на прочность при сжатии в соответствии с ГОСТ Р 58406.8-2019. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице.

Испытание образцов асфальтобетона на прочность при сжатии

Смесь	Номер образца	Максимальная нагрузка при сжатии F , Н	Истинная деформация при максимальной нагрузке при сжатии, мм/мм	Деформация L , мм	Сопротивление пластическому течению T , Н/мм
Без минерального порошка	1	8223,06	0,055	2,35	3499,17
	2	6953,06	0,080	2,70	2575,21
	Среднее	7588,06	0,067	2,53	3037,19
С минеральным порошком	1	7646,47	0,057	2,50	3058,59
	2	7510,54	0,068	2,10	3576,45
	3	6381,19	0,056	2,20	2900,54
	Среднее	7179,40	0,060	2,27	3178,53

Предел прочности при сжатии для образцов асфальтобетона, не содержащих нефелинового шлама, составляет 1,06 МПа, для образцов асфальтобетона с 5 мас. % — 0,89 МПа. Наблюдается снижение прочности при сжатии на 16 %: мелкие частицы нефелинового шлама не сыграли роль дополнительного связующего компонента совместно с битумом, как ожидалось ранее, а, наоборот привели к охрупчиванию образцов.

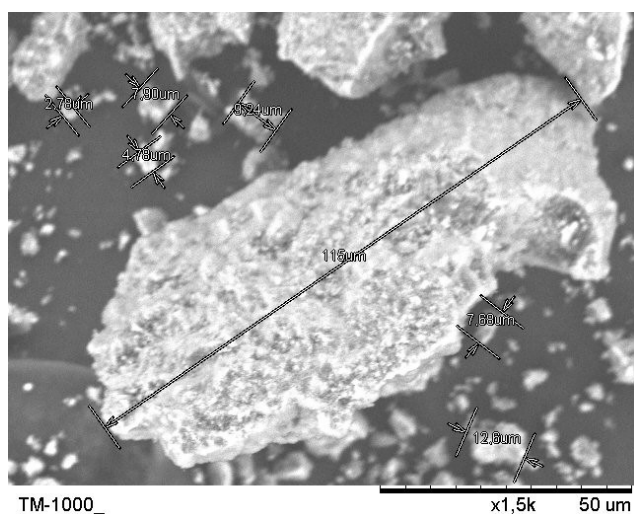


Рис. 2. Образец нефелинового шлама возрастом 20 лет, увеличение $\times 1500$

Согласно ГОСТ 9128–2013, предел прочности при сжатии при температуре 20 °С для асфальтобетонов всех типов должен составлять не менее 2,2 МПа для дорожно-климатической зоны 2 (Красноярский край). Результаты эксперимента не соответствуют данному требованию. Для нахождения причины уменьшения прочности при сжатии образцов асфальтобетона с добавлением нефелинового шлама был проведён микроскопический анализ с помощью растрового электронного микроскопа HITACHI TM1000. Результаты представлены на рис. 2, из которого видно, что частицы нефелинового шлама имеют развитую поверхность. Возможно, это является причиной того, что нефелиновый шлам в асфальтобетонной смеси обладает высокой битумоёмкостью.

Для подтверждения полученных результатов определили площадь поверхности и размер пор нефелинового шлама при адсорбции и десорбции азота. Площадь поверхности определяли методом БЭТ, размер пор — методом ВДН. Предварительную дегазацию образцов проводили при температуре 300 °С в течение 8 ч в глубоком вакууме ($P \sim 10^{-6}$ Па). Изотермы сорбции-десорбции азота зарегистрированы при 77 К в диапазоне P/P_0 (0,01–0,99). Результаты представлены на рис. 3.

Полученные кривые адсорбции-десорбции характерны для макропористых материалов со слабым взаимодействием адсорбат-адсорбент, из чего можно предположить, что некоторые поры нефелинового шлама достигают размера больше 50 нм. С увеличением возраста нефелинового шлама можно наблюдать всё более выраженный гистерезис — разность линий адсорбции и десорбции,

связанный с капиллярной конденсацией газа в мезопорах. Следовательно, в нефелиновом шламе есть поры от 2 до 50 нм, также являющиеся причиной битумоёмкости нефелинового шлама. Вероятно, это и есть причина снижения прочности при сжатии образцов асфальтобетона.

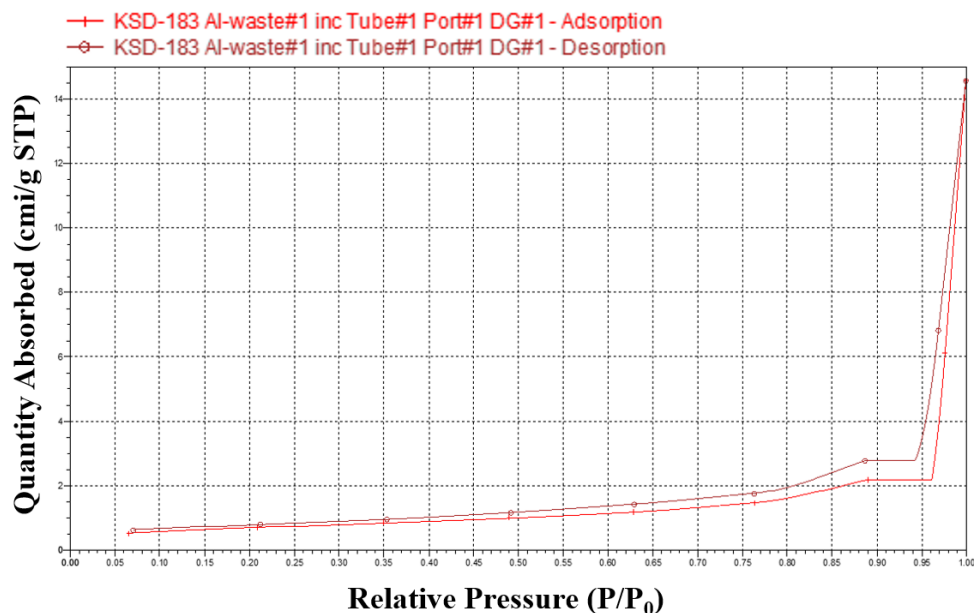


Рис. 3. Изотерма сорбции нефелинового шлама возрастом 20 лет

Выводы

При добавлении 5 мас. % нефелинового шлама в асфальтобетонную смесь прочность при сжатии понизилась на 16 %, если сравнивать со смесью без добавления шлама, — с 1,06 до 0,89 МПа. Мелкие частицы нефелинового шлама не сыграли роль дополнительного связующего компонента совместно с битумом, как ожидалось ранее, а, наоборот привели к охрупчиванию образцов.

Основной причиной падения прочности при сжатии является высокая битумоёмкость нефелинового шлама, вызванная развитой поверхностью частиц и их пористостью.

Список источников

1. Майорова Л. С., Акчурин Т. К. Вибропрессованные мелкозернистые бетоны, модифицированные добавками органо-химических и минеральных техногенных отходов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2007. № 7 (26). С. 155– 60.
2. Оценка воздействия на окружающую среду намечаемой деятельности АО «РУСАЛ Ачинск» по проектной документации «Участок производства глинозёма из каолинового сырья». URL: https://ineca.ru/pdf/?news/510/&1_BOOK_1.
3. Рахманов М. Л., Ежова О. С. Производство алюминия // Энциклопедия технологий. 2019. № 9. С. 346–381.
4. Алексеев А. И. Комплексная переработка апатит-нефелиновых руд на основе создания замкнутых технологических схем // Металлургия и обогащение. 2015. № 215. С. 75–82.

References

1. Majorova L. S., Akchurin T. K. Vibropressovannyye melkozernistyie betony, modifitsirovannyye dobavkami organo-himicheskikh i mineral'nykh tekhnogennykh othodov [Vibropressed fine-grained concretes modified with additives of organo-chemical and mineral technogenic wastes]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering], 2007, No. 7 (26), pp. 155–160. (In Russ.)

2. *Ocenka vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredu namechaemoj deyatel'nosti AO "RUSAL Achinsk" po proektnoj dokumentacii "Uchastok proizvodstva glinozema iz kaolinovogo syr'ya"* [Assessment of the environmental impact of the planned activities of RUSAL Achinsk JSC according to the project documentation "Site of alumina production from kaolin raw materials"]. (In Russ.). Available at: https://ineca.ru/pdf/?news/510/&1_BOOK_1.
3. Rahmanov M. L., Ezhova O. S. Proizvodstvo alyuminiya [Aluminum production]. *Enciklopediya tekhnologij* [Encyclopedia of Technology], 2019. No. 9, pp. 346–381. (In Russ.).
4. Alekseev A. I. Kompleksnaya pererabotka apatit-nefelinovyh rud na osnove sozdaniya zamknutyh tekhnologicheskikh skhem [Complex processing of apatite-nepheline ores based on the creation of closed technological circuits]. *Metallurgiya i obogashchenie* [Metallurgy and enrichment], 2015. No. 215, pp. 75–82. (In Russ.).

Информация об авторах

А. В. Ковалева — магистрант;

Л. Т. Денисова — кандидат химических наук, доцент.

Information about the authors

A. V. Kovaleva — Master's Degree Student;

L. T. Denisova — PhD (Chemistry), Associate Professor.

Статья поступила в редакцию 05.04.2024; одобрена после рецензирования 10.04.2024; принята к публикации 12.04.2024.
The article was submitted 05.04.2024; approved after reviewing 10.04.2024; accepted for publication 12.04.2024.