



УДК 693.78

ПРИМЕНЕНИЕ САПРОПЕЛЯ ОЗ. НЕРО ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

В.М. Дудин, Н.С. Смекалов, А.Э. Окутин

Владимир Михайлович Дудин

Кафедра гидротехнического и дорожного строительства, Ярославский государственный технический университет, ул. Кривова, 40, Ярославль, Российская Федерация, 150048

E-mail: dudinvm@ystu.ru

Никита Сергеевич Смекалов

Кафедра гидротехнического и дорожного строительства, Ярославский государственный технический университет, ул. Кривова, 40, Ярославль, Российская Федерация, 150048

E-mail: nikitsmekalov@gmail.com

Артём Эдуардович Окутин

Кафедра гидротехнического и дорожного строительства, Ярославский государственный технический университет, ул. Кривова, 40, Ярославль, Российская Федерация, 150048

E-mail: okutin1997@mail.ru



Для повышения водонепроницаемости и прочности асфальтобетонных покрытий широко применяются минеральные порошки, которые в основном получают из карбонатсодержащих горных пород (доломитовые минеральные порошки). С увеличением объёмов дорожного строительства растёт потребность в строительных материалах для его производства, в том числе и в минеральном порошке. Одним из направлений устранения дефицита является применение местных строительных материалов, в том числе и сапропелей. В Ярославской области в оз. Неро накопилось более 250 млн кубометров сапропеля, который губит это озеро. Для восстановления экосистемы озера предлагается его очистка с выемкой сапропеля и использованием его для различных отраслей промышленности и в сельском хозяйстве. Одним из направлений использования высокозольного сапропеля может быть дорожное строительство. Он может использоваться в качестве минерального порошка при производстве асфальтобетонных смесей. В данной работе рассматривается возможность применения сапропеля оз. Неро для производства горячих асфальтобетонных смесей.

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, минеральный порошок, сапропель, основные показатели асфальтобетона

Для цитирования:

Дудин В.М., Смекалов Н.С., Окутин А.Э Применение сапропеля оз. Неро ярославской области для производства асфальтобетонных смесей. *Умные композиты в строительстве*. 2021. Т. 2. № 3. С. 57-67 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/V2N3_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_3_57



UDC 693.78

APPLICATION OF SAPROPEL FROM LAKE NERO, YAROSLAVL REGION, RUSSIA FOR PRODUCTION OF ROAD CONCRETE MIXTURES

V.M. Dudin, N.S. Smekalov, A.E. Okutin

Vladimir M. Dudin

Department of Hydraulic Engineering and Road Construction, Yaroslavl State Technical University, Krivova st.,
40, Yaroslavl, 150048, Russia

E-mail: dudinvm@ystu.ru

Nikita S. Smekalov

Department of Hydraulic Engineering and Road Construction, Yaroslavl State Technical University, Krivova st.,
40, Yaroslavl, 150048, Russia

E-mail: nikitasmekalov@gmail.com

Artem E. Okutin

Department of Hydraulic Engineering and Road Construction, Yaroslavl State Technical University, Krivova st.,
40, Yaroslavl, 150048, Russia

E-mail: okutin1997@mail.ru



Mineral fillers are widely used to improve the water-resisting property and durability of asphalt pavements. Mainly fillers are obtained from carbonate-bearing rocks (dolomite mineral flours). The increasing of road construction leads to the need for increasing of road construction materials, including the mineral flours. Sapropel could help to eliminate this shortage. In the Yaroslavl region, more than 250 million cubic metres of sapropel have accumulated in Lake Nero. It is damaging the lake. To restore the lake's ecosystem, cleaning with sapropel extraction and using for various industries and agriculture are proposed. The road construction can use the high-ash sapropel. It can be used as a mineral flour in production of road concrete mixtures. This paper concerns the possibility of Lake Nero sapropel application for production of road concrete mixtures.

Key words: road concrete mixture, mineral flour, sapropel, features of road concrete

For citation:

Dudin V.M., Smekalov N.S., Okutin A.E. Application of sapropel from lake Nero, Yaroslavl region, Russia for production of road concrete mixtures. *Smart Composite in Construction*. 2021. Vol. 2. No. 3. P. 57-67 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/V2N3_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_3_57



ВВЕДЕНИЕ

Повышение качества строительства автомобильных дорог зависит от множества факторов. Одним из важнейших – это применение качественных асфальтобетонных смесей. Асфальтобетонная смесь состоит из минеральной составляющей (щебень и песок) и асфальтового вяжущего. Асфальтовое вяжущее включает в себя битум и минеральный порошок.

Минеральный порошок представляет собой материал, который получают путем измельчения горных пород или остатков промышленности. Минеральный порошок служит для повышения технических характеристик автомобильной дороги. При добавлении его в асфальтобетонную смесь удается добиться увеличения ее прочности и плотности за счет того, что мелкие частицы порошка заполняют свободные воздушные поры.

Вследствие этого понижается водонасыщение асфальтобетона, исходя из чего, уменьшается проникновение атмосферных осадков и увеличивается срок службы покрытия.

Минеральный порошок подразделяют на следующие марки (ГОСТ 32761-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Порошок минеральный. Технические требования):

- МП-1 – минеральный порошок, активированный из карбонатных горных пород;
- МП-2 – минеральный порошок неактивированный из карбонатных горных пород;
- МП-3 – минеральный порошок неактивированный из некарбонатных горных пород, твердых и порошковых отходов промышленного производства.

Минеральные порошки бывают активированные и неактивированные. Активация заключается в том, что во время помола исходного материала в его состав добавляют специальные поверхностно-активные вещества или совершаются дополнительные воздействия на частицы порошка. Неактивированный минеральный порошок получается обыкновенным дроблением карбонатных горных пород с последующим помолом.

Традиционно минеральные порошки изготавливаются из карбонатных горных пород (известняки, доломиты и доменные шлаки) [1, 2]. Увеличение объемов строительства автомобильных дорог приводит к дефициту строительных материалов, поэтому применение нетрадиционного сырья актуально.

Так в качестве минерального порошка ряд исследователей предлагают использовать золошлаковые отходы ТЭЦ и ТЭС. Переработанные отходы ТЭС позволяют снизить показатель битумоёмкости, повысить прочность и деформативность асфальтобетонов [3-6]. Это позволит снизить колееобразование на асфальтобетонных покрытиях.

Для снижения гидрофильности и увеличения адсорбционной активности минеральных порошков возможно

использование некондиционных алюмосиликатных горных пород после термической обработки. Исследования показали, что введение таких порошков повышают трещиностойкость, сдвигоустойчивость и прочность при сжатии [7, 8].

Применение измельченного вулканического туфа приводит к повышенной трещиностойкости и низкой теплопроводности по сравнению с асфальтобетоном на плотном заполнителе [9-13].

Применение минерального порошка из горючих сланцев для асфальтобетонов описано в работах [14-17]. Наличие в составе горючих сланцев керогена (полимерного органического материала, являющегося одной из форм нетрадиционной нефти) повышает адгезию вяжущего к поверхности минерального материала. За счёт этого повышается прочность и водостойкость асфальтобетона.

Предлагается модифицирование вяжущего цеолитом [18-20]. Введение цеолита в гудрон повышает количество асфальтенов, что повышает прочность буроугольных брикетов, сформованных из отходов угольных предприятий. Схожая кинетика формирования, вяжущего для брикетирования бурых углей, позволяет сделать предположение о возможности применения данной технологии при производстве асфальтобетонов.

Применение противогололёдных добавок для полной или частичной замены традиционного минерального порошка в асфальтобетонной смеси позволит повысить безопасность дорожного движения в зимний период без ухудшения основных свойств асфальтобетона [21, 22].

Ряд исследователей [23] предлагает использовать в качестве сырья для производства минерального порошка сапропель.

Для Ярославской области изучение возможности использования сапропеля в дорожном строительстве является актуальной задачей, т.к. на территории области имеется уникальное озеро Неро, запасы сапропеля в котором превышает 250 млн кубических метров.

Приблизительные размеры озера – 13х8 километров, общая площадь водного бассейна чуть более 51 квадратного километра. Одной из интересных особенностей озера является огромное количество сапропелей, расположенных на его дне. Современные исследователи полагают, что в далеком прошлом максимальная глубина здесь была 25-35 метров [24].

На сегодняшний день она составляет около четырех метров. А разница между этими значениями – толщина слоя сапропелей. Что же касается среднего значения глубины, то оно составляет порядка 1,3 метра [24].

Сапропель представляет собой природный органоминеральный комплекс веществ. Содержит гуминовые кислоты, фульвокислоты, целлюлозу, битумы, золу. В зависимости от содержания золы различают малозольный, средnezольный и повышеннозольный сапропель. Специалисты выделяют четыре типа сапропелей (по



преобладающему компоненту) – карбонатный, железистый, кремнеземистый и органический [25].

Детальная разведка месторождения сапропелей оз. Неро была выполнена геологопоисковой партией треста "Геолторфразведка" в 1974-1975 годах. Изысканиями было установлено, что сапропелевые отложения озера Неро распространены на площади 5308 га и имеют запас 169309 тыс. м³, или 107795 тыс. т в пересчете на 60% условную влажность. Средняя мощность отложения сапропеля - 3,19 м, наибольшая - 7,4 м.

По содержанию и составу органического и минерального вещества сапропелевые отложения озера подразделены на четыре вида: глинистый, водорослево-железистый, водорослево-известковый и известковый.

Глинистый сапропель занимает три четверти площади озера (73% площади). В прибрежной зоне он расположен небольшой мощностью до 0,9 м в верхних слоях пласта. На юго-западе озера и узкой полосой вдоль берега глинистый сапропель залегает на всю толщу и достигает глубины до 2,8 м. Запас глинистого сапропеля на площади 3854 га равен 33144 тыс. м³ (забалансовые запасы), что составляет 19,6% от общего запаса сапропеля.

Содержание органических веществ (остатки водорослей и живых организмов) у этого вида сапропелей колеблется от 9,4 до 32,27%; зольность - от 67,73 до 90,6% (глина, известь, песок).

Водорослево-железистый сапропель расположен в центральной части озера на площади 1347 га (25% площади). Средняя глубина - 1,08 м. Максимальная мощность отложения - 2,9 м. Запас 14548 тыс. м³, или 8,6% от общего запаса. Залегает он преимущественно в верхних слоях пласта, лишь на небольшой площади в восточной и северо-восточной частях залежи водорослево-железистого сапропеля перекрыты железистым сапропелем.

Содержание органических веществ у этого вида сапропелей колеблется от 28,21 до 36,53%; зольность - от 63,47 до 71,79%.

Водорослево-известковый сапропель самый распространенный на озере вид сапропеля. Расположен почти на всей площади озера - 3529 га. Средняя глубина - 2,0 м. Мощность отложений колеблется от 1,0 до 5,0 м. Запасы - 70567 тыс. м³, или 41,6% от общего запаса на месторождении. Залегает водорослево-известковый сапропель в основном в средних слоях сапропелевых отложений. Среди отложений этого вида сапропеля на разных глубинах встречаются прослойки известкового, известково-глинистого и глинистого сапропелей мощностью 0,2-0,5 м.

В минеральную часть входят известь, глина и частично песок. Содержание органических веществ у этого вида сапропелей колеблется от 12,42 до 23,17%; зольность - от 76,83 до 87,58%.

Известковый сапропель также очень широко распространен на озере. Общая площадь, занятая этим сапропелем, равна 2530 га, глубина - 2,02 м. Запас - 51050

тыс. м³, или 30,2% от общего запаса сапропеля. Распространен по площади озера отдельными контурами. Всего выделено 6 контуров. Самый большой контур расположен в западной части озера.

Залегает известковый сапропель в нижних слоях отложений. В пластах известкового сапропеля встречаются прослойки водорослево-известкового сапропеля мощностью до 0,5 м.

В минеральную часть входят известь, глина, песок. На долю извести приходится 40-65% минеральной части.

Содержание органических веществ в известковых сапропелях самое низкое и колеблется от 1-2 до 16,3%; зольность - от 83,7 до 91,58%.

Анализируя состав видов сапропеля озера, можно сделать вывод, что для производства минерального порошка из сапропеля оз. Неро возможно использование сапропелей с низким содержанием органики, таких как глинистый сапропель, водорослево-известковый сапропель, известковый сапропель.

Озеро Неро постепенно заполняется сапропелевыми отложениями. Озеро медленно, но верно мелеет. С каждым годом уменьшается количество рыбы и исчезает съедобный планктон. Озеро «умирает» – такой диагноз поставили ученые, состояние водоема почти критическое [26].

Суммируя все вышесказанное, можно сделать вывод, что единственный путь спасения озера Неро – полная его реконструкция путем удаления донных отложений. Рис. № – название рисунка

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

На сегодняшний день информации о реализации каких-либо проектов по реконструкции озера Неро нет, но другого варианта по его «спасению» просто не существует. Учитывая тот факт, что не все сапропели оз. Неро пригодны для использования в сельском хозяйстве как удобрения или мелиоранты почв, целесообразно проведение дальнейших исследований по расширению направлений его использования. Одним из таких направлений может быть дорожное строительство. Учитывая всё вышеизложенное, было принято решение о проведении научных исследований по использованию сапропеля оз. Неро при производстве асфальтобетонных смесей.

Для сравнения, были изготовлены образцы с использованием активированного и неактивированного сапропеля. Активация осуществлялась его обжигом с последующим помолом. Получившаяся асфальтобетонная смесь должна соответствовать требованиям, предъявляемым к асфальтобетону для нижнего слоя покрытия согласно ГОСТ 9128-2013.

При проведении научных исследований использовалось следующее оборудование: набор стандартных сит (размеры отверстий 11,2; 8; 4; 0,125 мм) с поддоном и



крышкой для разделения материалов на необходимые фракции; виброплощадка ВПУ-Ф для более эффективного просеивания материалов через сита; весы с точностью взвешивания до 0,01 г для определения массы необходимых компонентов асфальтобетонной смеси; фарфоровая ступка и пестик для измельчения минерального порошка из сапропеля; сушильный шкаф УТ-4610 [25] (для приготовления горячей асфальтобетонной смеси); лабораторная электропечь СНОЛ 1.6.2.5.1/11-М1 для обжига минерального порошка из сапропеля; формы для уплотнения асфальтобетонных образцов; вакуумная установка ФУТУРУМ для испытания асфальтобетонных

образцов на водонасыщение и водостойкость; пресс для уплотнения и определения предела прочности образцов при сжатии. Было изготовлено по три образца для каждой серии испытаний.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнение результатов определения объёмной плотности с требованием ГОСТ 9128-2013 представлено на рис. 1.

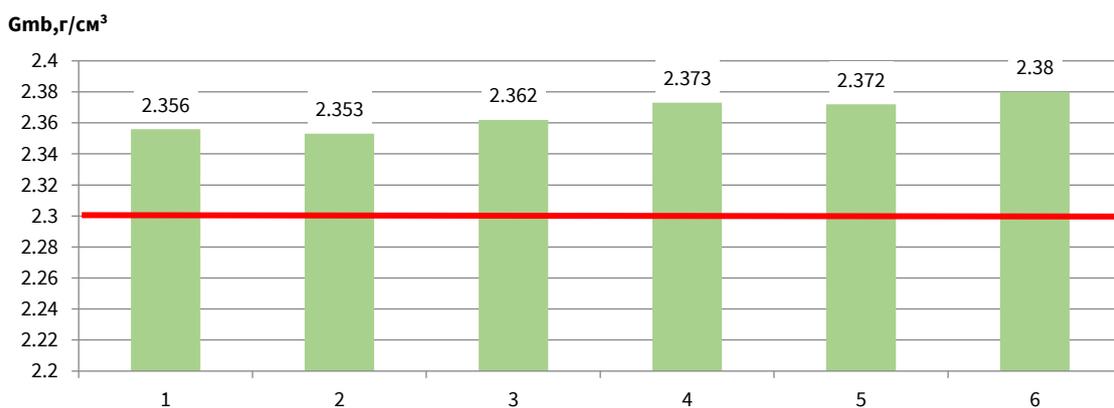


Рис. 1. Объёмная плотность образцов

Fig. 1. Bulk density of samples

Вывод: образцы с обожженным минеральным порошком из сапропеля (серии 4, 5, 6) имеют большую плотность. При этом показатели всех образцов отвечают требованиям ГОСТа (обозначено красной линией).

Сравнение результатов испытаний водонасыщения асфальтобетонных образцов с требованием ГОСТ 9128-2013 представлено на рис. 2.

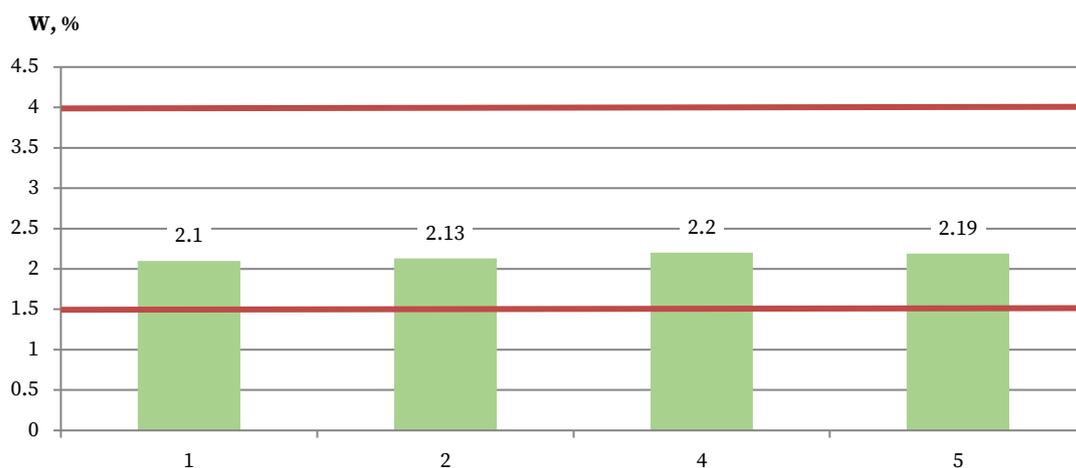


Рис. 2. Водонасыщение образцов

Fig. 2. Water saturation of samples



Вывод: водонасыщение серии образцов 1, 2 (с необожженным сапропелем) не имеет значительных отличий от водонасыщения образцов серии образцов 4, 5 (с обожженным сапропелем). При этом показатели всех образцов отвечают требованиям ГОСТа (обозначено красной линией).

Сравнение результатов испытаний прочности асфальтобетонных образцов с требованием ГОСТ 9128-2013 представлено на рис. 3.

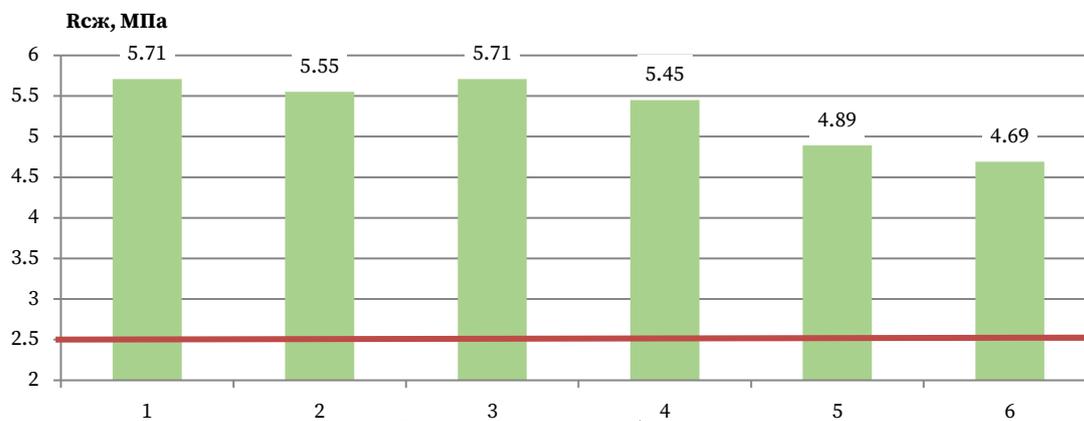


Рис. 3. Предел прочности образцов при сжатии

Вывод: серии образцов с необожженным минеральным порошком (1, 2, 3) показали большую прочность при сжатии. При этом показатели всех образцов отвечают требованиям ГОСТа (обозначено красной линией).

отвечают требованиям ГОСТа (обозначено красной линией).

Сравнение результатов испытаний асфальтобетонных образцов по коэффициенту водостойкости с требованием ГОСТ 9128-2013 представлено на рис. 4.

Сравнение результатов испытаний прочности асфальтобетонных образцов с требованием ГОСТ 9128-2013 представлено на рис. 3.

K_B

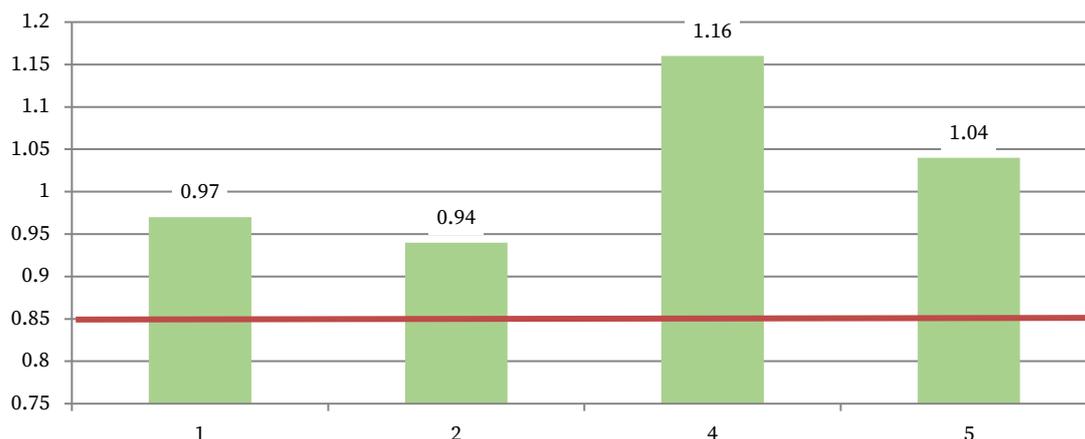


Рис. 4. Водостойкость образцов
Fig. 4. Water resistance of samples

Вывод: серии образцов с обожженным минеральным порошком (4, 5) показали большую водостойкость. При

этом показатели всех четырех образцов отвечают требованиям ГОСТа (обозначено красной линией).



ВЫВОДЫ

В результате выполнения первого этапа экспериментальных исследований данной работы можно сделать следующие выводы:

- предложенный состав асфальтобетонной смеси с минеральным порошком из сапропеля предварительно может использоваться в качестве нижнего слоя покрытия дорожной одежды;
- образцы асфальтобетонной смеси по объемной плотности, водонасыщению, водостойкости и пределу прочности при сжатии отвечают требованиям ГОСТ 9128-2013. Стоит отметить, что испытуемые образцы в два раза превысили допустимый предел прочности при сжатии, что является хорошей предпосылкой для использования минерального порошка из сапропеля;
- по проведенным экспериментальным исследованиям видно, что обжиг минерального порошка не привел к существенному улучшению характеристик асфальтобетона. В дальнейшем, при производстве асфальтобетонной смеси с таким составом, нет необходимости обжигать минеральный порошок, так как это ведет к удорожанию смеси, а прочностные характеристики не изменяются. Возможно, образцы с обожженным минеральным порошком покажут лучшие характеристики при проведении других дополнительных экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Котлярский Э.В.** Строительно-технические свойства дорожного асфальтового бетона: учеб. пособие. М.: МАДИ (ГТУ). 2004. 192 с.
2. **Горельшев Н.В.** Асфальтобетон и другие битумо-минеральные материалы. М.: Можайск-Терра. 1995. 176 с.
3. **Турбин В.С., Лаврухин В.П.** Получение активированного минерального порошка из золошлаковых отходов ТЭЦ для приготовления асфальтобетона. *Строительные материалы*. 1993. № 2. С. 20-21.
4. **Пугин К.Г.** Использование отходов металлургии в асфальтобетонах. *Строительные материалы*. 2011. № 10. С. 26-27.
5. **Аминов Ш.Х., Струговец И.Б., Ханнанова Г.Т., Недосеко И.В., Бабков В.В.** Использование пиритного огарка в качестве минерального наполнителя в асфальтобетонах. *Строительные материалы*. 2007. № 9. С. 42-43.
6. **Ярмолинская Н.И.** Дорожный асфальтобетон с применением минеральных порошков из техногенных отходов промышленности: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та. 2007. 337 с.
7. **Лебедев М.С., Строкова В.В., Жерновский И.В., Потапова И.Ю.** Изменение свойств минеральных порошков из алюмосиликатного сырья под влиянием термической модификации. *Строительные материалы*. 2012. № 9. С. 68-70.
8. **Лебедев М.С., Жерновский И.В., Фомина Е.В., Фомин А.Е.** Особенности использования глинистых пород при производстве строительных материалов. *Строительные материалы*, 2015. № 9. С. 67-71.
9. **Подрез Г.А., Битуев А.В., Заяханов М.Е., Мангутов А.Н., Прокопец В.С.** Применение местных эффузивных горных пород для производства асфальтобетона. *Строительные материалы*. 2009. № 5. С. 36-38.
10. **Прокопец В.С., Галдина В.Д., Подрез Г.А.** Асфальтобетоны на основе пористых заполнителей Западной и Восточной Сибири. *Строительные материалы*. 2009. № 11. С. 26-28.
11. **Прокопец В.С., Галдина В.Д., Надыкто Г.И., Подрез Г.А.** Физико-механические и деформативные свойства асфальтобетонов на пористом заполнителе. *Вестник СибАДИ: Научный рецензируемый журнал*. 2009. Вып. 2(12). С. 39-43.
12. **Прокопец В.С., Галдина В.Д., Подрез Г.А.** Оптимизация рецептурных и технологических факторов при изготовлении битумо-минеральных композиций на пористом заполнителе. *Вестник СибАДИ: Научный рецензируемый журнал*. 2012. Вып. 2(24). С. 57-63.
13. **Подрез Г.А., Битуев А.В., Заяханов М.Е.** Возможность замены стабилизирующих добавок в щебеночно-мастичном асфальтобетоне на местные материалы из эффузивных горных пород. *Материалы I Всероссийской научно-практической конференции*. Якутск, 2008. С. 86-89.
14. **Галдина В.Д., Гурова Е.В., Кривонос О.И., Терехова Е.Н., Плаксин Г.В., Райская Е.А.** Минеральные порошки из горючих сланцев. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2015. № 2. С. 20-24.
15. **Галдина В.Д., Гурова Е.В., Кривонос О.И., Терехова Е.Н., Плаксин Г.В.** Пути использования горючих сланцев Оленекского месторождения в дорожном строительстве. *Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации: Материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО «СибАДИ»*. Омск: СибАДИ. 2013. Т. 2. С. 40-43.
16. **Галдина В.Д., Гурова Е.В.** Исследование горючих сланцев как сырья для производства минеральных порошков. Развитие дорожно-транспортного и строительного комплексов и освоение стратегически важных территорий Сибири и Арктики: вклад науки. Материалы международной научно-практической конференции. 15-16 декабря 2014 г, г. Омск [Электронный ресурс]. Омск: СибАДИ. 2014. Т. 3. С. 17-21. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22725413&pff=1>
17. **Галдина В.Д., Гурова Е.В., Кривонос О.И., Плаксин Г.В.** Асфальтобетоны на основе минеральных материалов из твердых углеродсодержащих продуктов горючих сланцев. *Развитие дорожно-транспортного и*



строительного комплексов и освоение стратегически важных территорий Сибири и Арктики: вклад науки. *Материалы международной научно-практической конференции 15-16 декабря 2014 г., г. Омск* [Электронный ресурс]. Омск: СибАДИ. 2014. Т. 3. С. 14-17. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22725388&pff=1>

18. **Николаева Л.А., Буренина О.Н.** Особенности брикетирования бурых углей Ленского бассейна. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2012. № 3. С. 168-174.
19. **Попов С.Н., Заровняев Б.Н., Буренина О.Н., Николаева Л.А.** Особенности брикетирования бурых углей Якутии. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2 14. № 9. С. 405-412.
20. **Николаева Л.А., Латышев В.Г., Буренина О.Н.** Топливные брикеты из бурых углей Якутии. *Химия твердого топлива*. 2009. № 2. С. 55-59.
21. **Дудин В.М., Окутин А.Э., Смекалов Н.С.** Повышение безопасности асфальтобетонного покрытия. *Умные композиты в строительстве*. 2021. Т. 2. Вып. 2. С. 56-68. URL: <http://comincon.ru/index.php/tor/article/view/33>
22. **Смирнов А.В., Дудин В.М.** Влияние содержания противогололёдной добавки на основные свойства асфальтобетона. Семьдесят четвертая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 21 апреля 2021 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 2 ч. Ч. 2. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2021. С. 415-419. 1 CD-ROM. Текст: электронный.
23. **Смекалов Н.С., Окутин А.Э., Дудин В.М.** Совершенствование составов асфальтобетонных смесей при использовании нетрадиционных минеральных порошков. *Семьдесят четвертая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием*. 21 апреля 2021 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 2 ч. Ч. 2. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2021. С. 407-411. 1 CD-ROM. Текст: электронный.
24. Озеро Неро. URL: <https://wikiway.com/russia/ozero-nero/>
25. **Климовицкий М.Л., Майоров И.М., Хохлов Б.Н., Малышков Л.С., Дудин В.М.** Сапропель озера Неро – уникальный источник богатства земли Ярославской. Ярославль: Верхне-Волжский региональный центр РАЕН. 1999. 84 с.
26. **Бикбулатов Э.С., Литвинов А.С.** Необходимость и целесообразность реконструкции экосистемы оз. Неро. *Доктор ЯРО: Экоцентр*. URL: <http://doctor-yaro.ru/archives/378#.Xox-UvkzacM>

Поступила в редакцию 08.09.2021

Принята к опубликованию 20.09.2021

REFERENCES

1. **Kotlyarsky E.V.** Construction and technical properties of road asphalt concrete. M.: MADI (GTU). 2004. 192 p. (in Russian).
2. **Gorelyshev N.V.** Asphalt concrete and other bitumen-mineral materials. M.: Mozhaysk-Terra. 1995. 176 p. (in Russian).
3. **Turbin V.S., Lavrukhin V.P.** Obtaining activated mineral powder from ash and slag waste of thermal power plants for the preparation of asphalt concrete. *Stroitel'nye materialy*. 1993. N 2. P. 20-21 (in Russian).
4. **Pugin K.G.** The use of metallurgical waste in asphalt concrete. *Stroitel'nye materialy*. 2011. N 10. P. 26-27 (in Russian).
5. **Aminov Sh.Kh., Strugovets I.B., Khannanova G.T., Nedoroseko I.V., Babkov V.V.** The use of pyrite stub as a mineral filler in asphalt concrete. *Stroitel'nye materialy*. 2007. N 9. P. 42-43 (in Russian).
6. **Yarmolinskaya N.I.** Road asphalt concrete with the use of mineral powders from technogenic industrial waste: textbook. Manual. 2nd ed., reprint. and add. Khabarovsk: Izd-vo Tihookean. gos. un-ta. 2007. 337 p. (in Russian).
7. **Lebedev M.S., Strokova V.V., Zhernovskiy I.V., Potapova I.Yu.** Changing the properties of mineral powders from aluminosilicate raw materials under the influence of thermal modification. *Stroitel'nye materialy*. 2012. N 9. P. 68-70 (in Russian).
8. **Lebedev M.S., Zhernovskiy I.V., Fomina E.V., Fomin A.E.** Features of the use of clay rocks in the production of building materials. *Stroitel'nye materialy*. 2015. N 9. P. 67-71 (in Russian).
9. **Podrez G.A., Bituev A.V., Zayakhanov M.E., Mangutov A.N., Prokopets V.S.** The use of local effusive rocks for the production of asphalt concrete. *Stroitel'nye materialy*. 2009. N 5. P. 36-38 (in Russian).
10. **Prokopets V.S., Galdina V.D., Podrez G.A.** Asphalt concretes based on porous aggregates of Western and Eastern Siberia. *Stroitel'nye materialy*. 2009. N 11. P. 26-28 (in Russian).
11. **Prokopets V.S., Galdina V.D., Nadykto G.I., Podrez G.A.** Physico-mechanical and deformative properties of asphalt concrete on a porous aggregate. *Vestnik SibADI: Nauchnyj recenziruemyy zhurnal*. 2009. Iss. 2 (12). P. 39-43 (in Russian).
12. **Prokopets V.S., Galdina V.D., Podrez G.A.** Optimization of prescription and technological factors in the manufacture of bitumen-mineral compositions on a porous aggregate. *Vestnik SibADI: Nauchnyj recenziruemyy zhurnal*. 2012. Iss. 2 (24). P. 57-63 (in Russian).
13. **Podrez G.A., Bituev A.V., Zayakhanov M.E.** The possibility of replacing stabilizing additives in crushed-mastic asphalt concrete with local materials from effusive rocks. *Materialy I Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Yakutsk. 2008. P. 86-89 (in Russian).



14. **Galdina V.D., Gurova E.V., Krivonos O.I., Terekhova E.N., Plaksin G.V., Raikaya E.A.** Mineral powders from oil shales. *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli*. 2015. N 2. P. 20-24 (in Russian).
15. **Galdina V.D., Gurova E.V., Krivonos O.I., Terekhova E.N., Plaksin G.V.** Ways of using oil shales of the Olenekskoye field in road construction. *Arhitektura. Stroitel'stvo. Transport. Tekhnologii. Innovacii: Materialy Mezhdunarodnogo kongressa FGBOU VPO «SibADI»*. Omsk: SibaDI. 2013. P. 40-43 (in Russian).
16. **Galdina V.D., Gurova E.V.** Research of oil shales as raw materials for the production of mineral powders. *Razvitie dorozhno-transportnogo i stroitel'nogo kompleksov i osvoenie strategicheski vazhnykh territorij Sibiri i Arktiki: vklad nauki. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. 15-16 dekabrya 2014 g, g. Omsk [Elektronnyj resurs]. Omsk: SibaDI. 2014. P. 17-21. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22725413&pff=1> (in Russian).
17. **Galdina V.D., Gurova E.V., Krivonos O.I., Plaksin G.V.** Asphalt concretes based on mineral materials from solid carbon-containing products of oil shale. *Razvitie dorozhno-transportnogo i stroitel'nogo kompleksov i osvoenie strategicheski vazhnykh territorij Sibiri i Arktiki: vklad nauki. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. 15-16 dekabrya 2014 g, g. Omsk [Elektronnyj resurs]. Omsk: SibaDI. 2014. P. 14-17. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22725388&pff=1> (in Russian).
18. **Nikolaeva L.A., Burenina O.N.** Features of briquetting brown coals of the Lena basin. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2012. N 3. P. 168-174 (in Russian).
19. **Popov S.N., Zarovnyaev B.N., Burenina O.N., Nikolaeva L.A.** Features of briquetting brown coals of Yakutia. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*. 2014. N 9. P. 405-412 (in Russian).
20. **Nikolaeva L.A., Latyshev V.G., Burenina O.N.** Fuel briquettes from brown coals of Yakutia. *Khimiya tverdogo topliva*. 2009. N 2. P. 55-59 (in Russian).
21. **Dudin V.M., Okutin A.E., Smekalov N.S.** Improving the safety of asphalt concrete pavement. *Smart composites in construction*. 2021. V. 2. N 2. P. 56-68. URL: <http://comin-con.ru/index.php/tor/article/view/33> (in Russian).
22. **Smirnov A.V., Dudin V.M.** Influence of the content of anti-ice gouging on the olefin properties of asphalt concrete. *Sem'desyat chetvertaya vserossiyskaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya studentov, magistrantov i aspirantov vysshih uchebnykh zavedenij s mezhdunarodnym uchastiem*. 21 aprelya 2021 g., Yaroslavl': sb. materialov konf. V. 2 ch. CH. 2. Yaroslavl': Izd-vo YAGTU, 2021. P. 415-419. 1 CD-ROM. Tekst: elektronnyj (in Russian).
23. **Smekalov N.S., Okutin A.E., Dudin V.M.** Improvement of the compositions of asphalt concrete mixtures when using non-traditional mineral powders. *Sem'desyat chetvertaya vserossiyskaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya studentov, magistrantov i aspirantov vysshih uchebnykh zavedenij s mezhdunarodnym uchastiem*. 21 aprelya 2021 g., Yaroslavl': sb. materialov konf. V. 2 ch. CH. 2. Yaroslavl': Izd-vo YAGTU, 2021. P. 407-411. 1 CD-ROM. Tekst: elektronnyj (in Russian).
24. Lake Nero. URL: <https://wikiway.com/russia/ozero-nero/> (in Russian).
25. **Klimovitsky M.L., Mayorov I.M., Khokhlov B.N., Malyshkov L.S., Dudin V.M.** Sapropel of Lake Nero – a unique source of wealth of the Yaroslavl land. Yaroslavl: Verhne-Volzhsckij regional'nyj centr RAEN. 1999. 84 p. (in Russian).
26. **Bikbulatov E.S., Litvinov A.S.** Necessity and expediency of reconstruction of the lake ecosystem. *Nero. Doktor YARO: Ekocentr*. URL: <http://doctor-yaro.ru/archives/378#.Xox-UvkzacM>

Received 08.09.2021

Accepted 20.09.2021