

Т.Ф. ЕЛЬЧИЩЕВА<sup>1</sup>, П.В. МОНАСТЫРЕВ<sup>1</sup>, В.А. ЕЗЕРСКИЙ<sup>1</sup>, А.Т. ТАСКАЛИЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия

<sup>2</sup>ЧВПОУ «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет»,

г. Уральск, Республика Казахстан

## ПРИМЕНЕНИЕ ОПОКИ ШИПОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**Аннотация.** Проведено исследование возможности применения в дорожном строительстве опоки Шиповского месторождения республики Казахстан в качестве самостоятельного материала и термолита, полученного из опоки. Целью исследования является разработка технологических параметров производства новых строительных материалов – опоки и термолита, а также регламента их применения в дорожном строительстве. Объект исследования – опока и полученный из неё термолит Шиповского месторождения республики Казахстан. Предмет исследования – свойства опоки и термолита и технологические параметры их включения в состав дорожной одежды автомобильных дорог III категории. Научная гипотеза – опока Шиповского месторождения республики Казахстан может использоваться в качестве самостоятельного материала или в виде термолита в составе дорожной одежды автомобильных дорог III категории. Научная новизна – с использованием современных методов исследования получены новые данные о физико-механических свойствах и минералогическом составе опоки Шиповского месторождения; получены новые данные о физико-механических свойствах и химическом составе термолита, полученного из опоки. Теоретическая значимость исследования заключается в получении экспериментальных данных о свойствах опоки и термолита, практическая значимость работы заключается в использовании результатов исследования для разработки состава асфальтобетонной смеси на основе термолита и применения ее в дорожном строительстве. Установлены основные физико-механические свойства опоки Шиповского месторождения Западно-Казахстанской области. Разработаны технологические параметры применения опоки в строительстве автомобильной дороги на участке Уральск (Республика Казахстан) – р. п. Озинки (Российская Федерация). В результате проведенных работ по исследованию состояния участка дороги после шестилетней эксплуатации установлено преимущество применения для строительства основания дороги опоки по сравнению с глиной. Разработана технология получения термолита, на которую по результатам проведенных испытаний получен сертификат качества продукции. Разработана технология производства асфальтобетонной смеси на основе термолита для строительства дорог, особенно в тех районах, где отсутствуют месторождения твердых горных пород для производства щебня, является весьма актуальной. Разработан состав асфальтобетонной смеси с использованием термолита, отличающийся преимуществом показателей по сравнению с существующими аналогами, что подтверждено результатами испытаний, проведенных в аккредитованных испытательных лабораториях, разрешающих применение разработанного состава асфальтобетонной смеси для строительства дорожного полотна автомобильных дорог III категории.

**Ключевые слова:** опока, термолит, асфальтобетон, дорожное полотно, основание дороги.

T.F. ELCHISHCHEVA<sup>1</sup>, P.V. MONASTYREV<sup>1</sup>, V.A. YEZERSKY<sup>1</sup>, A.T. TASKALIEV<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Tambov State Technical University, Tambov, Russia

<sup>2</sup>HUE «West Kazakhstan University of Innovation and Technology», Uralsk, Republic of Kazakhstan

## APPLICATION OF OPOKA FROM THE SHIPOVSKOE DEPOSIT OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN IN ROAD CONSTRUCTION

**Abstract.** A study was conducted on the use of opoka from the Shipovskoye deposit in the Republic of Kazakhstan and thermolite obtained from opoka in road construction. The aim of the study is to develop new technologies for the production of building materials - opoka and thermolite, and their use in road construction. The object of the study is opoka from the Shipovskoye deposit in the Republic of Kazakhstan. The subject of the study is the properties of opoka and thermolite and their work in the composition of the road pavement of category III highways. Scientific hypothesis - opoka from the Shipovskoye deposit in the Republic of Kazakhstan can be used as an independent material or as a thermolite in the composition of the road pavement of category III highways. Scientific novelty - using modern research methods, new data were obtained on the physical and mechanical properties and mineralogical composition of opoka from the Shipovskoye deposit; new data were obtained on the physical and mechanical properties and chemical composition of thermolite obtained from opoka. The theoretical significance of the study lies in obtaining experimental data on the properties of opoka and thermolite, the practical significance of the work lies in using the research results to develop the composition of asphalt concrete mixture based on thermolite and its application in road construction. The main physical and mechanical properties of opoka from the Shipovskoye deposit in the West Kazakhstan region were established. The use of opoka in the construction of a road on the section Uralsk (Republic of Kazakhstan) - the village of Ozinki (Russian Federation) was studied. As a result of the work carried out to study the state of the road section after six years of operation, the advantage of using opoka for the construction of the road base was established compared to clay. A technology for producing thermolite was developed, for which a product quality certificate was received based on the results of the tests. The development of a technology for the production of asphalt concrete mixture based on thermolite for road construction, especially in those areas where there are no deposits of hard rocks for the production of crushed stone, is very relevant. An asphalt concrete mixture composition has been developed using thermolite, which has an advantage in terms of indicators compared to existing analogues, which is confirmed by the results of tests conducted in accredited testing laboratories, permitting the use of the developed asphalt concrete mixture composition for the construction of road surfaces of category III highways.

**Keywords:** opoka, thermolite, asphalt concrete, road surface, road base.

## 1. Введение

Кремнистые породы состоят из минералов группы оксидов кремния – опала – аморфного кремнезема. Одна из разновидностей кремнистых пород – опока [1]. Опока состоит из микрозернистого опала, являющегося продуктом растворения и переотложения кремнистого вещества, прилипшего к скелетам диатомей (диатомеи, или диатомовые водоросли, представляют группу водорослей, отличающихся наличием у клеток «панциря» из диоксида кремния) [2].

В Республике Казахстан месторождение опоки в Западно-Казахстанской области простирается на десятки километров, площадь неразведанных месторождений измеряется сотнями квадратных километров, это сотни миллионов кубических метров опоки.

Крупным месторождением опоки в Западно-Казахстанской области Республики Казахстан является Шиповское месторождение, которое расположено в районе станции Шипово [3]. Месторождение находится в Прикаспийской впадине и располагается горизонтально в виде пластов палеоценового возраста [4]. Запасы опоки составляют по категориям А+В+С около 21619 тыс. м<sup>3</sup> [5]. В настоящее время опока используется для строительства грунтовых дорог (рисунок 1, а).

В производстве строительных материалов и изделий из легких бетонов [6, 7] в качестве мелкого и крупного заполнителя также используется материал термолит [8, 9], который получают из опоки путем высокотемпературного обжига при температуре 1150–1200°C [10].

Отличием опоки от глины, которую используют для строительства грунтовых автомобильных дорог, является то, что глина становится пластичной при увлажнении водой, а опока обладает дренажными свойствами и, вследствие своей пористости, пропускает влагу, не накапливая ее на поверхности. Опока менее пластична, а также обладает меньшей липкостью, чем глина, что позволяет в весенний и осенний периоды осуществлять

передвижение автотранспортных средств практически без затруднений, что является значительным преимуществом при ее использовании.

а)



б)



в)



г)



*Рисунок 1 – Грунтовая дорога с использованием опоки (а), автомобильная дорога второй категории г. Уральск – р.п. Озинки (б), участок дороги над водопропускной трубой с основанием из глины (в), участок дороги с основанием из глины над водопропускной трубой после ремонта (г)*

В тех районах, особенно между небольшими населенными пунктами, где автомобильные дороги с твердым покрытием отсутствуют, использование опоки имеет широкое применение.

Участок автомобильной дороги общего пользования республиканского значения второй категории протяженностью г. Уральск (Республика Казахстан) – р.п. Озинки (Саратовская область, Российская Федерация) в районе станции Шипово был реконструирован в 2018 г. с использованием опоки (рисунок 1, б). Опока использовалась для подъема (увеличения высоты) насыпи основания дороги при расширении дорожного полотна с 6 до 9 м и в качестве отсыпки для откосов. При реконструкции выполнялось требование заказчика к устройству прямолинейного продольного профиля дороги (ранее он был волнообразным). Крутые спуски и подъемы на холмистой местности были выровнены, на таких участках досыпали опоку на высоту в среднем до 5–7 м от прежнего уровня. На некоторых участках поднятие насыпи составило примерно 12–15 м, что способствовало выравниванию дороги и предотвращению наблюдающихся ранее аварий большегрузных автомобилей в зимний период, особенно во время гололедицы. Опока здесь использовалась в качестве основания дорожного полотна и устройства насыпи дороги с асфальтобетонным покрытием. При ширине проезжей части 9 м нагрузка на ось автомобиля составляла 13 т при расчетной интенсивности движения 4403 автомобиля в сутки.

Проведенные натурные исследования позволили установить, что в результате шестилетней эксплуатации дороги, выполненной с использованием опоки, на участке с водопропускными трубами повреждений в виде сетки трещин, просадок, сдвигов не наблюдается. К особенностям местности следует отнести то, что участок, где использовалась опока, заболочен, с выходом на поверхность стоячих грунтовых вод (рисунок 1, в), что создавало худшие условия для эксплуатации, в отличие от участков дороги с основанием из глины. На всех участках дороги, где при реконструкции производилась замена старых водопропускных труб на новые, для устройства основания с нуля использовалась опока.

На участках дороги, где использовалась глина, для укрепления применялся геотекстиль, а на участках с опокой геотекстиль не использовался, что не снизило качество дорожного полотна. Согласно ГОСТ 32804-2014 «Материалы геосинтетические для фундаментов, опор и земляных работ», геотекстиль применяют в основании дорожного покрытия для его защиты от разрушительных процессов и предотвращения выпучивания и разрушение грунта [11, 12]. Геотекстиль также повышает устойчивость дорожного покрытия, способствует укреплению и равномерному распределению нагрузки, защищает основание дороги от вымывания и размыва, улучшает дренажные свойства дорожного полотна, сохраняет его целостность и стабильность [13]. Геотекстиль укладывают первым слоем, отделяющим всю дорожную систему от грунта, а также в качестве разделительного слоя между песком и щебнем.

На участках автомобильной дороги, где основанием дорожного покрытия являлась глина и применялся геотекстиль, практически во всех местах строительства водопропускных труб наблюдалась просадка дорожного полотна, что потребовало проведения ремонтных работ (рисунок 1, г). Такое наблюдение натолкнуло на более детальное изучение физико-механических свойств материалов, использованных в строительстве данного участка дороги.

Научная гипотеза состоит в предположении, что опока Шиповского месторождения республики Казахстан может использоваться в качестве самостоятельного материала или в виде термолита в составе дорожной одежды автомобильных дорог III категории. Для подтверждения научной гипотезы была поставлена цель научноисследовательской работы – разработка технологических параметров производства новых строительных материалов – опоки Шиповского месторождения и термолита, а также регламента их применения в дорожном строительстве.

Задачами исследования по использованию опоки Шиповского месторождения, расположенного в Западно-Казахстанской области Республики Казахстан, и продукта из опоки – термолита, полученного высокотемпературным обжигом, являются: изучение Шиповского месторождения и отбор проб опоки; изучение способов применения опоки в дорожном строительстве; натурные исследования участка дороги с водопропускными системами с применением глины и опоки; установление особенностей использования опоки и глины; разработка технологии изготовления из опоки термолита; проектирование состава горячей асфальтобетонной смеси на основе термолита для автомобильных дорог III категории.

Такие повреждения дорожного покрытия влекут за собой снижение скоростного режима. Резкое торможение транспортных средств приводит к уменьшению дистанции между ними, вызывая аварийные ситуации, особенно во время гололеда. Перепад слоя дорожного полотна даже после ремонта остается и со временем из-за просадки основания дороги он может увеличиваться, что влечет уменьшение межремонтных сроков и частый ремонт. Ремонт даже небольшого участка дороги республиканского значения создает ограниченность движения. При этом увеличиваются затраты дорожных организаций, вызванные такими повреждениями, на техническое содержание дорог [14, 15].

Физико-механические свойства опоки должны соответствовать требованиям нормативных документов для строительства оснований для всех категорий автомобильных дорог, особенно при проектировании дорог в условиях водонасыщенных грунтов [16–19].

При решении задач исследования предполагалось использование опоки в двух видах. Во-первых, она применяется как самостоятельный материал для дорожного строительства, когда определяются основные свойства опоки, положительно отличающие ее от других материалов, используемых для строительства оснований дорог (например, глины). Во-вторых, применяется продукт переработки опоки – термолит (гранулы) в составе асфальтобетона для устройства дорожного полотна. При этом определяются физико-механические свойства, материалов и категории дорог, для строительства которых эти материалы будут применяться в будущем.

## 2. Модели и методы

Изучение свойств опоки в лабораторных условиях проводились в соответствии с ГОСТ 22263-76 «Щебень и песок из пористых горных пород. Технические условия». Физико-механические исследования опоки проводились в соответствие с ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний».

Месторождение опоки изучалось визуально, был проведен отбор проб на различной глубине в точках по периметру месторождения согласно схеме участка (Рисунок 2).

Для изучения физико-механических свойств опоки были отобраны образцы фракции менее 40 мм. Результаты ситового анализа опоки показали, что содержание фракций с размерами до 40 мм составило: фракция 20 – 40 мм – от 29,9 до 31,1 %, фракция 10 – 20 мм – от 15,2 до 15,4 %, фракция 5 – 10 мм – от 3,8 до 4,2 %, фракция до 5 мм – 1,9 – 2,1 %.

## 3. Результаты исследования и их анализ

Для установления особенностей использования при строительстве дорог глин различных месторождений и опоки Шиповского месторождения был проведен сравнительный анализ их свойств. В работе [18] были проведены лабораторные исследования разработанных месторождений Западно-Казахстанской области Погодаевского (глина) и Чаганского (суглинок). Полученные данные числа пластичности глин сравнивались с числом пластичности глины Туксайского месторождения и опоки Шиповского месторождения (см. таблицу 1). Разделение на группы проводилось в соответствие с ГОСТ 9169-75 «Сырье глинистое для керамической промышленности. Классификация».



*Рисунок 2 – Схема отбора проб опоки на Шиповском месторождении.  
x - точка отбора проб, h - глубина отбора проб от уровня земли*

Таблица 1 – Число пластичности сырья

Наименование сырья и месторождения	Число пластичности по результатам лабораторных испытаний	Наименование групп в соответствии с ГОСТ 9169-75
Глина Погодаевского месторождения [18]	26,5	Высокопластичные (свыше 25)
Глина Туксайского месторождения	26,2	Высокопластичные (свыше 25)
Суглинок Чаганского месторождения [18]	11,5	Умереннопластичные (7–15)
Опока Шиповского месторождения	5	Малопластичные (3–7)

В результате проведенных исследований установлено, что опока, согласно ГОСТ 9169–75, относиться к группе малопластичных материалов.

Опока обладает лучшими дренажными свойствами по сравнению с глиной, благодаря чему опока применяется в промышленности в качестве сорбента, также опока обладает меньшей липкостью, чем глина, что облегчает продвижение и работу спецтехники.

Дальнейшее изучение физико-механических свойств опоки проводилось для фракций 5 – 10, 10 – 20 и 20 – 40 мм. Результаты лабораторных исследований по определению физико-механических свойств опоки представлены в таблице 2 [21, 22].

Таблица 2 – Физико-механические свойства опоки

Размер фракций, мм	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Теплопроводность, Вт/м×К
5 – 10	635 – 640	27 – 28	3,4 – 3,5	0,11 – 0,12
10 – 20	620 – 625	26 – 27	3,8 – 3,9	0,08 – 0,09
20 – 40	585 – 590	25 – 26	4,0 – 4,1	0,06 – 0,07

Наибольшую насыпную плотность, составляющую 635 – 640 кг/м<sup>3</sup>, имеет фракция 5 – 10 мм, все фракции имеют водопоглощение 25 – 28 %, прочность выше у фракции 20 – 40 мм, она составляет 4,0 – 4,1 МПа. Самая низкая теплопроводность у фракции 20 – 40 мм, она составляет 0,06 – 0,07 Вт/м ×К.

Прочность определялась с помощью пресса ПГМ-50МГ4, а теплопроводность – прибором ИТП-МГ-4 «ЗОНД» по ГОСТ 30256-94 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности цилиндрическим зондом».

По результатам минералого-петрографического анализа в соответствии с ГОСТ 33031-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение минералого-петрографического состава» определено содержание опаловой массы, имеющей наибольшее количество по сравнению с другими составляющими – 69,55%.

По уменьшению содержания в опоке минералы располагаются в следующем порядке: глинистые минералы – 15,56 %, цеолит – 3,2%, гидроксид железа – 2,73%, глауконит – 2,2%, полевой шпат – 1,03 %, слюда – 2,19 %, кварц – 1,75%, кальцит – 0,9 %, органика углефицированная – 0,75%.

Для устройства покрытия при ремонте дороги изготавливается асфальтобетон, где в качестве легкого заполнителя использовался термолит, полученный из опоки путем высокотемпературного обжига в соответствии с требованиями ГОСТ 56507-2015 «Заполнители термолитовые на основе кремнистого сырья. Технические условия».

Свойства термолита определялись согласно ГОСТ 9758-2012 «Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний».

Для изготовления термолита для лабораторных исследований использовалась муфельная лабораторная электропечь SNOL 6,7/1300. Обжиг опоки фракций 5 – 10 мм, 10 – 20 мм и 20 – 40 мм производился при температуре 1150 °C.

В лаборатории инженерного профиля «ИРГЕТАС» Восточно-Казахстанского государственного технического университета имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, был проведен анализ всех элементов термолита в 5 спектрах с использованием растрового электронного микроскопа JSM 6390LV (ГОСТ Р 8.631-2007 «Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы электронные растровые измерительные. Методика поверки» (Рисунок 3).

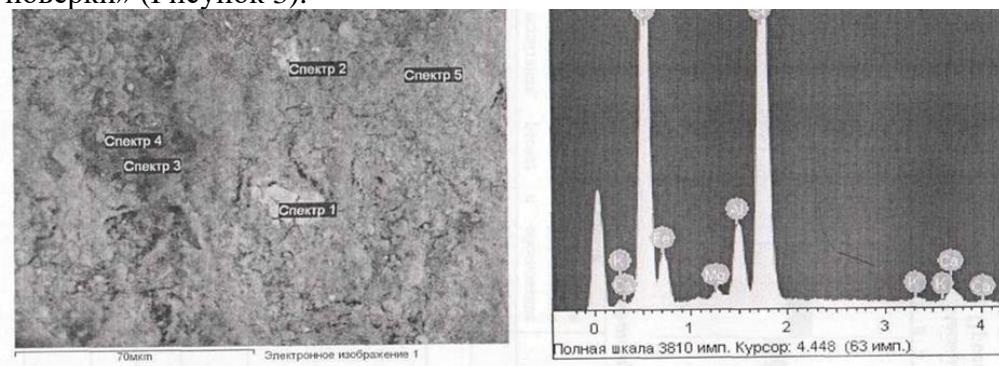


Рисунок 3 – Спектральный анализ термолита

Получены следующие результаты химического состава: кислород O (54,43 – 61,40 %), натрий Na (0,63 – 2,52 %), магний (0,57 – 1,01 %), алюминий Al (3,73 – 4,82 %), кремний Si (19,92 – 30,94 %), сера S (0,46%), хлор (0,24 – 2,05 %), калий (0,29 – 1,68 %), кальций Ca (0,54 – 0,99 %), титан Ti (0,16 – 0,19 %), железо Fe (2,49 – 19,01 %) (см. таблицу 3).

По результатам измерений удельной эффективной активности ЕРН, проведенным отделом испытаний Западно-Казахстанского филиала АО «Национальный центр экспертизы и сертификации», термолит, полученный промышленным способом, прошел сертификацию по ГОСТ 30108-94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов» на пригодность в строительстве. Полученный термолит получил сертификат №1395435, выданный АО «Национальный центр экспертизы и сертификации» Республики Казахстан, подтверждающий его соответствие требованиям безопасности (качества) в строительстве. Удельная эффективная активность естественных радионуклидов составила  $28 \pm 6$  Бк/кг, что значительно ниже нормативного значения (не более 370 Бк/кг). Материалу присвоен I класс, что позволяет применять полученный термолит во всех видах строительства.

**Таблица 3 – Химический состав термолита**

Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe
Спектр 1	55,07		0,57	4,15	19,92			0,29	0,99		19,01
Спектр 2	54,77		0,75	4,07	22,85			0,53	0,57	0,19	16,26
Спектр 3	54,43	2,52	0,73	3,73	30,94	0,46	2,05	1,68	0,98		2,49
Спектр 4	61,40	0,63	0,87	4,37	27,06		0,24	0,76	0,54	0,17	3,97
Спектр 5	58,85		1,01	4,82	28,19			0,67	0,58	0,16	5,71
Макс.	61,40	2,52	1,01	4,82	30,94	0,46	2,05	1,68	0,99	0,19	19,01
Мин.	54,43	0,63	0,57	3,73	19,92	0,46	0,24	0,29	0,54	0,16	2,49

Результаты проведенных испытаний по определению физико-механических свойств термолита приведены в таблице 4.

**Таблица 4 – Результаты испытаний термолита**

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	850 – 950
2	Марка по дробимости	не ниже 1000
3	Удельная эффективная активность ЕРН, Бк/кг	28 – 30
4	Марка по морозостойкости	не ниже F25
5	Марка по истираемости	не ниже И1
6	Теплопроводность, Вт/м×К	0,10 – 0,12
7	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм, %	0,24
8	Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	0,2
9	Содержание зерен слабых пород, %	3,1

Лабораторные исследования асфальтобетона для дорожного покрытия проводились в испытательной лаборатории АО «Уральскдорстрой», г. Уральск, Республика Казахстан в соответствии с ГОСТ 12801-98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний» и Государственным стандартом Республики Казахстан СТ РК 1218-2003 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний».

В соответствии с ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов» запроектирован состав асфальтобетонной смеси (горячая, плотная, мелкозернистая типа Б, для верхнего покрытия дорог).

Смесь включает, % по массе: термолит фракции 10 – 20 мм – 37%; отсев дробления природного щебня (фракция менее 5 мм), производитель Мугалжарский щебеночный завод, г.Актобе, Актюбинская область, Республика Казахстан – 37%; песок (ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия») – 14%; минеральный порошок (ТОО

«Kazfarina», г. Актобе, Актыбинская область, Республика Казахстан) – 6%; битум, ГОСТ 22245-90 «Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия» (производства ТОО СП «Caspi Bitum», г. Актау, Мангистауская область, Республика Казахстан) – 6%.

Результаты проведенных испытаний по определению физико-механических свойств асфальтобетонных образцов представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты испытаний образцов асфальтобетона

№	Наименование показателя	Нормативное значение	Результаты эксперимента
1	Средняя плотность уплотненной смеси, г/см <sup>3</sup>	Не нормируется	2,21
2	Водонасыщение, % (об.)	1,5 – 4,0	4,02
3	Предел прочности при сжатии, МПа: при $t=50^{\circ}\text{C}$ при $t=20^{\circ}\text{C}$	$\geq 1,2$ $\geq 2,2$	1,42 3,8
4	Водостойкость	$\geq 0,8$	0,88

#### 4. Заключение

1. Установлена принципиальная возможность эффективного использования опоки Шиповского месторождения и получаемого из неё термолита для строительства конструктивных слоёв дорожных одежд, что подтверждается их соответствием требованиям нормативных документов.

2. Доказано преимущество применения опоки по сравнению с традиционными материалами (на примере глины) при строительстве основания автомобильной дороги Уральск – Озинки.

3. Разработаны и сертифицированы технология получения термолита и усовершенствованный состав асфальтобетонной смеси на его основе, которые показали лучшие характеристики по сравнению с аналогами и разрешены к применению на дорогах III категории.

Определена актуальность и перспектива данных разработок для регионов с дефицитом каменных материалов, а также следующая цель — создание состава смеси для дорог I-II категорий. Представленное исследование расширяет область применения опоки и термолита для строительства автомобильных дорог. С учетом результатов проведенных исследований, дальнейшая работа заключается в разработке состава асфальтобетонной смеси с использованием термолита для автомобильных дорог I-II категорий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Здорик Т.Б., Фельдман Л.Г., Тимофеев И.Н., Матиас В.В. Минералы и горные породы СССР. Москва: Мысль, 1970. 488 с.
2. Cecile S. Rousseaux, Watson W. Gregg. Recent decadal trends in global phytoplankton composition // Journal of Global Biogeochemical Cycles. 2015. Vol. 29, No. 10. Pp. 1674-1688.
3. Камалов С.М., Ли К.А.. География размещения месторождений природных ископаемых Уральской области и их народнохозяйственное значение. Уральск: Диалог, 1992. 156 с.
4. Смирнов П.В., Жакипбаев Б.Е., Староселец Д.А. [и др.]. Диатомиты и опоки месторождений Западного Казахстана: литология, структурно-текстурные параметры, потенциал использования // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов. 2023. Т. 334, № 7. С. 187-201. DOI 10.18799/24131830/2023/7/4046.
5. Баранова М.Н., Коренькова С.Ф., Чумаченко Н.Г. История освоения кремнистых пород // Строительные материалы. 2011. № 8. С. 1-4.
6. Падалкин Н.В., Евшин П.Н. Модифицированные сорбенты на основе опоки для очистки вод // Труды Кольского научного центра РАН. 2019. Т. 10, № 1-3. С. 262-269. DOI 10.25702/KSC.2307-5252.2019.10.1.262-269.

7. Петров В.П., Макридин Н.И., Соколова Ю.А., Ярмаковский В.Н. Технология и материаловедение пористых заполнителей и легких бетонов // Москва: Палеотип, 2013.332 с.
8. Петров В.П., Макридин Н.И., Ярмаковский В.Н. Пористые заполнители и легкие бетоны. Материаловедение. Технология производства // Самара: Самарский ГАСУ, 2009. 436 с.
9. Mizuriaev S. A., Montaev S. A., Taskaliev A. T. Artificial broken stone production for industrial and civil engineering: Technological Parameters // Procedia Engineering. Elsevier Ltd. 2015. Vol. 111, Pp. 534-539. DOI 10.1016/j.proeng.2015.07.037
10. Тяпкин В.А., Калашников В.И., Ерофеева И.В. Получение термолита из опочного гравия и бетона на его основе (Часть 1) // Современные научные исследования и инновации. 2015. №4 (48). [Электронный ресурс]. URL: <https://web.s nauka.ru/issues/2015/04/51697> (дата обращения 30.12.2024).
11. Шитова Т.И. Нетканый геотекстиль для дорожного строительства // Сборник научных трудов по итогам Международной научной конференции, посвященной 135-летию со дня рождения профессора В.Е. Зотикова, Часть 3. М.: ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина», 2022. С. 142-147.
12. Пичугин Д.А. Геотекстильные материалы в дорожном строительстве // Фундаментальные и прикладные научные исследования в современном мире: Сборник научных статей по материалам II Международной научно-практической конференции, Часть 3. Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр «Вестник науки», 2023. С. 48–53.
13. Комбаров В.А., Обухов П.Д., Чербаева Ж.П. Применение геосинтетических материалов в дорожном строительстве // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: Материалы X-й Международной научно-практической конференции, посвященной 45-летию Института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2024. С. 60-64.
14. Бартош С.А. Дорожное строительство: проблемы строительства и пути их решения // Вызовы современности и стратегии развития общества в условиях новой реальности: Сборник материалов XXIV Международной научно-практической конференции. М., 2024. С. 208-210.
15. Стородубцева Т.Н., Шакирова О.И., Болгов А.В. Актуальность проблемы строительства дорожных покрытий, износа и повреждений верхнего слоя дорожной одежды // Сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2023. С. 119-124.
16. Русских К.Ю., Ульрих С.А., Каширский Д.Ю. Современные технологии в дорожном строительстве // Организация и безопасность дорожного движения: материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2021. С. 50-55.
17. Ремнев В.В. Применение новых технологий и материалов в дорожном и аэродромном строительстве // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2020. №5-6 (256-257). С. 47–55.
18. Филатова А.В., Коробов Н.А. Инновационные методы дорожного строительства // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии: Сборник статей 79-й всероссийской научно-технической конференции. Самара: Самарский государственный технический университет, 2022. С. 281-289.
19. Щербаков Б.П., Стачук А.А. Инновационные технологии в дорожном строительстве и ремонте // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева. 2021. № 2(26). С. 133-139.
20. Монтаева А.С., Щучкин С.В., Монтаев С.А., Таскалиев А.Т. [и др.]. Исследование свойств стеновой керамики с использованием опоки // Успехи современного естествознания. 2012. № 6. С. 41-42.
21. Джармухамбетов К.Г., Монтаева А.С., Монтаев С.А., Таскалиев А.Т. Разработка технологии микропористого гранулированного теплоизоляционного материала // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-1. С. 30-31. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/viewid=33679> (дата обращения: 01.01.2025).
22. Shakeshev B.T., Narikov K.A., Taskaliev A.T. [et al.]. Prospects of creating the technology of composite adsorbent for water purification based on the composition of siliceous and clay rocks of Kazakhstan // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2018. Vol. 9, No. 1. Pp. 805-813.

## REFERENCES

1. Zdorik T.B., Fel'dman L.G., Timofeev I.N., Matias V.V. Mineraly i gornye porody SSSR [Minerals and rocks of the USSR]. Moscow: Mysl', 1970. 488 p. (rus).
2. Cecile S. Rousseaux, Watson W. Gregg. Recent decadal trends in global phytoplankton composition // Journal of Global Biogeochemical Cycles. 2015. Vol. 29, No. 10. Pp. 1674-1688.
3. Kamalov S.M., Li K.A.. Geografiya razmeshcheniya mestorozhdeniy prirodnnykh iskopayemykh Ural'skoy oblasti i ikh narodnokhozyaystvennoye znacheniye [Geography of the deposits of natural resources of the Ural region and their national economic importance]. Uralsk: Dialog, 1992. 156 p. (rus).
4. Smirnov P.V., Zhakipbaev B.E., Staroselec D.A. [i dr.]. Diatomity i opoki mestorozhdenij Zapadnogo Kazahstana: litologiya, strukturno-teksturnye parametry, potencial ispol'zovaniya [Diatomites and flanks of deposits in Western Kazakhstan: lithology, structural and textural parameters, potential use] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2023. T. 334, No. 7. Pp. 187-201. DOI: 10.18799/24131830/2023/7/4046. (rus).

5. Baranova M.N., Koren'kova S.F., Chumachenko N.G. Istorya osvoeniya kremnistyh porod [The history of the development of siliceous rocks] // Stroitel'nye materialy. 2011. No. 8. Pp. 1-4. (rus).
6. Padalkin N.V., Evshin P.N. Modificirovannye sorbenty na osnove opoki dlya ochistki vod [Modified sorbents based on flask for water purification] // Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. 2019. T. 10, No 1-3. Pp. 262-269. DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.10.1.262-269. (rus).
7. Petrov V.P., Makridin N.I., Sokolova Yu.A., Yarmakovskij V.N. Tekhnologiya i materialovedenie poristykh zapolnitelej i legkih betonov [Technology and materials science of porous aggregates and light concretes] // Moscow: Paleotip, 2013. 332 p. (rus).
8. Petrov V.P., Makridin N.I., Yarmakovskij V.N. Poristye zapolniteli i legkie betony. Materialovedenie. Tekhnologiya proizvodstva [Porous aggregates and lightweight concretes. Materials science. Production technology] // Samara: Samarskij GASU, 2009. 436 p. (rus).
9. Mizuriaev S.A., Montaev S.A., Taskaliev A.T. Artificial broken stone production for industrial and civil engineering: Technological Parameters // Procedia Engineering. Elsevier Ltd. 2015. Vol. 111, Pp. 534-539. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.07.037.
10. Tyapkin V.A., Kalashnikov V.I., Erofeeva I.V. Poluchenie termolita iz odochchnogo graviya i betona na ego osnove (Chast' 1) [Obtaining thermolith from support gravel and concrete based on it (Part 1)] // Sovremennyya nauchnye issledovaniya i innovacii. 2015. No 4 (48). [Online]. System requirements: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2015/04/51697> (date of application: 30.12.2024). (rus).
11. Shitova T.I. Netkanyj geotekstil' dlya dorozhnogo stroitel'stva [Nonwoven geotextiles for road construction] // Sbornik nauchnyh trudov po itogam Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj 135-letiyu so dnya rozhdeniya professora V.E. Zotikova, Chast' 3. Moscow: FGBOU VO «Rossijskij gosudarstvennyj universitet imeni A.N. Kosygina, 2022. Pp. 142-147. (rus).
12. Pichugin D.A. Geotekstil'nye materialy v dorozhnom stroitel'stve [Geotextile materials in road construction] // Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire: Sbornik nauchnyh statej po materialam II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Chast' 3. Ufa: Obshchestvo s ogranicennoj otvetstvennost'yu «Nauchno-izdatel'skij centr «Vestnik nauki», 2023. Pp. 48-53. (rus).
13. Kombarov V. A., Obuhov P.D., Cherbaeva Zh.P. Primenenie geosinteticheskikh materialov v dorozhnom stroitel'stve [Application of geosynthetic materials in road construction] // Ustoichivoe razvitiye regiona: arhitektura, stroitel'stvo, transport: Materialy X-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 45-letiyu Instituta arhitektury, stroitel'stva i transporta Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tambov: Tambovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2024. Pp. 60-64. (rus).
14. Bartosh S.A. Dorozhnoe stroitel'stvo: problemy stroitel'stva i puti ih resheniya [Road construction: construction problems and ways to solve them] // Vyzovy sovremennosti i strategii razvitiya obshchestva v usloviiyah novoj real'nosti: Sbornik materialov XXIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Moscow, 2024. Pp. 208-210. (rus).
15. Storodubceva T.N., Shakirova O.I., Bolgov A.V. Aktual'nost' problemy stroitel'stva dorozhnyh pokrytiy, iznosa i povrezhdenij verhnego sloya dorozhnoj odezhdy [The relevance of the problem of road surface construction, wear and damage to the upper layer of the road surface] // Sbornik statej Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa. Petrozavodsk: Mezhdunarodnyj centr nauchnogo partnerstva «Novaya Nauka», 2023. Pp. 119-124. (rus).
16. Russkikh K.Yu., Ul'rih S.A., Kashirskij D.Yu. Sovremennye tekhnologii v dorozhnom stroitel'stve [Modern technologies in road construction] // Organizaciya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya: materialy HIV Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Tyumen: Tyumenskij industrial'nyj universitet, 2021. Pp. 50-55. (rus).
17. Remnev V.V. Primenerie novyh tekhnologij i materialov v dorozhnom i aerodromnom stroitel'stve [Application of new technologies and materials in road and airfield construction] // Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka. 2020. No 5-6 (256-257). Pp. 47-55. (rus).
18. Filatova A.V., Korobov N.A. Innovacionnye metody dorozhnogo stroitel'stva [Innovative methods of road construction] // Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Stroitel'stvo i stroitel'nye tekhnologii: Sbornik statej 79-j vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Samara: Samarskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2022. Pp. 281-289. (rus).
19. Shcherbakov B.P., Stachuk A.A. Innovacionnye tekhnologii v dorozhnom stroitel'stve i remonte [Innovative technologies in road construction and repair] // Vestnik Voennoj akademii material'no-tehnicheskogo obespecheniya im. generala armii A.V. Hruleva. 2021. No 2 (26). Pp. 133-139. (rus).
20. Montaeva A.S., Shchuchkin S.V., Montaev S.A., Taskaliev A.T. [i dr.]. Issledovanie svojstv stenovoj keramiki s ispol'zovaniem opoki [Investigation of the properties of wall ceramics using flask] // Uspekhi sovremennoj estestvoznaniya. 2012. No 6. Pp. 41-42. (rus).
21. Dzharmuhambetov K.G., Montaeva A.S., Montaev S.A., Taskaliev A.T. Razrabotka tekhnologii mikroporistogo granulirovannogo teploizolyacionnogo materiala [Technology development of microporous granular thermal insulation material] // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2014. No 5-1. Pp. 30-31. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/viewid=33679> (date of application: 01.01.2025). (rus).
22. Shakeshev B.T., Narikov K.A., Taskaliev A.T. [et al.]. Prospects of creating the technology of composite adsorbent for water purification based on the composition of siliceous and clay rocks of Kazakhstan // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2018. Vol. 9, No. 1. Pp. 805-813.

**Информация об авторах:**

**Ельчищева Татьяна Федоровна**

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия,  
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Архитектура и градостроительство».  
E-mail: [elschevat@mail.ru](mailto:elschevat@mail.ru)

**Монастырев Павел Владиславович**

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия,  
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, доцент, директор института архитектуры, строительства  
и транспорта.  
E-mail: [monastyrev68@mail.ru](mailto:monastyrev68@mail.ru)

**Езерский Валерий Александрович**

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия,  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Архитектура и градостроительство».  
E-mail: [wiz75micz@rambler.ru](mailto:wiz75micz@rambler.ru)

**Таскалиев Азамат Тюлепкалиевич**

ЧВПОУ «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет», г. Уральск, Республика  
Казахстан, магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Архитектура и строительство».  
E-mail: [Taskalievazamat@mail.ru](mailto:Taskalievazamat@mail.ru)

**Information about authors:**

**Elchishcheva Tatyana F.**

Tambov State Technical University, Tambov, Russia,  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Architecture and Urban Planning.  
E-mail: [elschevat@mail.ru](mailto:elschevat@mail.ru)

**Monastyrev Pavel V.**

Tambov State Technical University, Tambov, Russia,  
Corresponding Member of RAASN, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of  
Architecture, Construction and Transport.  
E-mail: [monastyrev68@mail.ru](mailto:monastyrev68@mail.ru)

**Yezerskiy Valery A.**

Tambov State Technical University, Tambov, Russia,  
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of "Architecture and Urban Planning".  
E-mail: [wiz75micz@rambler.ru](mailto:wiz75micz@rambler.ru)

**Taskaliyev Azamat T.**

West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk, Republic of Kazakhstan, Master of Technical Sciences,  
Senior Lecturer of the Department of "Architecture and Construction".  
E-mail: [Taskalievazamat@mail.ru](mailto:Taskalievazamat@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 30.10.2025

Одобрена после рецензирования 23.11.2025

Принята к публикации 01.12.2025

The article was submitted 30.10.2025

Approved after reviewing 23.11.2025

Accepted for publication 01.12.2025