

УДК 620.22

## Применение бентонитовой глины в качестве гидроизоляционного материала

Р. А. Майер<sup>1</sup>, Г. Д. Якимов<sup>1</sup>, Н. Н. Шангина<sup>1</sup>, С. А. Самойлов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

<sup>2</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, 450064, Уфа, ул. Космонавтов, 1

**Для цитирования:** Майер Р. А., Якимов Г. Д., Шангина Н. Н., Самойлов С. А. Применение бентонитовой глины в качестве гидроизоляционного материала // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2024. Т. 21. Вып. 2. С. 380–390. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-02-380-390

### Аннотация

**Цель:** аналитическое исследование возможности использования бентонита — природного минерала, обладающего высокими гидроизоляционными и адсорбционными свойствами, в различных сферах. **Методы:** использованы методы сравнительного анализа, синтеза, обобщения, аналогии. **Результаты:** в данной статье рассмотрены различные сферы применения бентонита, позволяющие позиционировать бентонит как универсальный материал, который нашел широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря своим уникальным свойствам. Отмечены преимущества бентонита перед другими гидроизоляционными материалами, включая экологичность, долговечность, эффективность и экономичность. Исследованы свойства бентонитовой глины, способность которой к набуханию и созданию гидроизоляционного барьера при контакте с водой делает ее эффективным материалом для защиты от воздействий влаги. Указано, что высокая морозостойкость бентонита обеспечивается благодаря сложной структуре материала, состоящей из атомов оксидов металлов и атомов кремния, которые образуют плотную структуру. Межслоевое пространство, в котором сосредоточены обменные катионы, является физической и физико-химической основой сорбционной активности бентонитовых глинистых пород. Установлено, что ценным качеством бентонита является его способность самозалечиваться, как и в случае использования при отрицательных температурах. Это обусловлено его молекулярной структурой. Микроскопические частицы, из которых состоит бентонит, имеют отрицательный заряд, они способны адсорбировать молекулы воды. **Практическая значимость:** гидроизоляционные работы производятся по многим направлениям строительства. При этом материалы из бентонита не используются широко. В этом аспекте в статье подробно описаны такие гидроизоляционные материалы, как бентонитовые маты, глиняный замок, инъекционная бентонитовая гидроизоляция. Авторы считают, что спрос на использование бентонита как надежного и перспективного средства гидроизоляции в строительной отрасли будет возрастать.

**Ключевые слова:** бентонит, гидроизоляция, эксплуатационные свойства, бентонитовые маты, глиняный замок, инъекционная бентонитовая гидроизоляция.

## Введение

Бентонит — это горная порода (пластинчатая, осадочная), содержащая большое количество глинистых материалов монтмориллонитовой группы. Материал имеет хорошие сорбционные свойства.

Исторически бентонитовые глины появились около 140 млн лет назад [1]. Первым ученым, открывшим способность поглощать влагу, стал французский химик Луи-Николя Воклен в 1797 году. Он провел исследование и выявил, что при соединении воды и бентонита образуется гель, удерживающий большое количество воды. В результате этого открытия минерал получил известность и стал широко использоваться в различных отраслях промышленности [2].

Бентонит назван по имени географического места обнаружения — района форта Бентон, штат Монтана, США.

Когда бентонит вступает в контакт с водой, он начинает разбухать, в результате образуется гель (поглощает влагу), при гидратации гранулы этого материала увеличиваются примерно в 16 раз. Гель обладает высокой вязкостью и водонепроницаемостью. Описанное свойство дает возможность его использовать в различных сферах применения [6]:

1) строительство — бентонит используется в качестве добавки в бетон и другие строительные материалы для улучшения их прочности и водонепроницаемости. В сочетании с геотекстилем и другими геоматериалами бентонит может применяться для создания эффективной гидроизоляции, а также систем дренажа и фильтрации [3];

2) бурение — бентонит применяется в буровых растворах для предотвращения обвала стенок скважины и удержания грунтовых вод. Материал способствует очистке скважины от бурового шлама;

3) виноделие — используется для осветления вина, удаления осадка и улучшения его вкуса и цвета;

4) пищевая промышленность — в качестве пищевой добавки (E558) для стабилизации и загущения пищевых продуктов, таких как соусы, джемы, желе и т. д.;

5) косметика — в качестве компонента в масках для лица, шампунях, зубных пастах и других косметических продуктах. Он обладает абсорбирующими свойствами, помогает очищать кожу и волосы от загрязнений;

6) сельское хозяйство — добавка в корма для животных, так как он улучшает их пищеварение и усвоение питательных веществ;

7) очистка воды — в системах очистки воды для удаления тяжелых металлов, органических загрязнений и других вредных веществ;

8) производство бумаги — материал используется в процессе производства бумаги для улучшения ее качества и прочности;

9) производство керамики — в качестве добавки в глину для улучшения ее пластичности и прочности;

10) геотехника — для стабилизации грунтов и предотвращения оползней.

Перечисленные направления не полностью охватывают сферы применения бентонита. Таким образом, бентонит — это универсальный материал, который нашел широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря своим уникальным свойствам.

Важно отметить, что процесс набухания бентонита при контакте с водой является обратимым. При высыхании бентонит возвращается к своему первоначальному состоянию. Это делает его удобным

для использования в различных условиях и позволяет повторно использовать его после высыхания. В данной работе рассматривается использование бентонита в строительстве.

### **Эксплуатационные свойства бентонита**

К преимуществам бентонита по сравнению с другими материалами для гидроизоляции относятся:

— универсальность использования. Бентонит подходит для различных типов поверхностей, таких как бетон, кирпич, металлы и дерево; пригоден в различных сферах строительной отрасли;

— эффективность. Имеет способность создавать водонепроницаемый барьер, удерживать воду и не допускать проникновения влаги через поверхности, на которые он был нанесен. В результате гидратации возможно увеличение в объеме до 16 раз. В некоторых случаях нет аналогов этому материалу [2];

— экологическая безопасность. Являясь природным материалом, бентонит потенциально не содержит вредных химических компонентов и не выделяет токсичные испарения. Он безопасен при контакте с питьевой водой и пищей. Если брать во внимание возможное влияние бентонита на окружающую среду, то материалы, произведенные на его основе, являются предпочтительными в случаях, когда требуется минимизировать вред окружающей среде;

— эксплуатация в условиях агрессивных сред. Данный материал обладает высокой резистентностью к воздействию таких сред, как кислоты, щелочи и соли. Он целесообразен для использования в тех условиях, когда другие гидроизоляционные материалы будут подвержены коррозии

и другим видам разрушений. Одно из направлений использования бентонита — захоронение радиоактивных отходов. Данный материал используется в качестве наполнителя, он обеспечивает удержание радиоактивных веществ и препятствует их распространению. Есть сведения, что бентонит смешивается с радиоактивными отходами и полученная смесь помещается в специальные контейнеры для последующего хранения (захоронения) [5];

— простота использования. Материал используется как в виде порошка, так и в виде готовых гидроизоляционных материалов. Легко смешиваясь с водой, он образует однородную массу (пасту), которая легко наносится на любые поверхности. Удобство использования не требует специальных навыков, то есть возможно использование при разном уровне квалификации сотрудников;

— долговечность. Сохраняя гидроизоляционные свойства на протяжении длительного периода времени, материал устойчив к воздействию ультрафиолетовых лучей, скачкам температуры, колебаний и другим разрушающим внешним факторам;

— экономичность. Бентонит альтернативен таким материалам для гидроизоляции, как полимеры, битумные мембраны. В настоящее время бентонит имеет более конкурентоспособную стоимость, привлекательную для потребителей. Материал может быть использован повторно после высыхания, что делает его еще более доступным и повышает экономическую эффективность;

— ремонтпригодность. В случае возникновения повреждений и необходимости ремонта гидроизоляции, выполненной из бентонита, не требуется дополнительных

усилий или восстановления. Демонтаж и замена в данном случае не требуются. Алгоритм проведения ремонта в стандартной ситуации — это создание нового слоя бентонита поверх имеющегося слоя. В этом случае возможно смешать дополнительную порцию бентонита с водой до получения густой пасты. Полученная паста затем наносится на имеющуюся поверхность с помощью простых строительных инструментов, таких как шпатель или валик [5].

Простота использования делает бентонит привлекательным для использования в самых разных отраслях промышленности.

Морозостойкость является отличительной характеристикой бентонита. Способность материала сохранять свои свойства при циклах замораживания/размораживания позволяет использовать бентонит в сложных климатических условиях, в том числе с переменными суточными температурами, например при строительстве различных сооружений (в том числе дорог, мостов, зданий и т. д.).

Морозостойкость бентонита зависит от марки, степени дисперсности. В целом следует отметить, что в некоторых условиях эксплуатации должны быть рассмотрены марки бентонита с учетом требования к отрицательным температурам, гарантирующим надежность применения в случаях повышенной морозостойкости.

Важно указать, что высокая морозостойкость бентонита обеспечивается благодаря сложной структуре материала, состоящей из атомов оксидов металлов и атомов кремния, образующих плотную структуру. В ней имеется межслоевое пространство, в котором сосредоточены обменные катионы. Это является физической и физико-химической основой сорбционной актив-

ности бентонитовых глинистых пород. После превращения воды в лед, а именно замерзания, вода расширяется, и это могло бы привести к разрушению гидроизоляционного материала. В случае использования бентонита из-за его плотной структуры обеспечивается препятствие проникновению воды внутрь. Именно это гарантирует устойчивость бентонита к разрушению в случае замораживания и оттаивания. Дополнительно надо отметить, что бентонит может расширяться и сжиматься без разрушения. Это еще одно качество, которое положительно его характеризует и также учитывается при использовании в случае отрицательных температур (морозостойкость) [7].

Ценным качеством бентонита является его способность самозалечиваться, как и в случае использования при отрицательных температурах. Это обусловлено его молекулярной структурой. Микроскопические частицы, из которых состоит бентонит, имеют отрицательный заряд, они способны адсорбировать молекулы воды. При смешивании с водой бентонит увеличивается в объеме и полученная смесь заполняет повреждения (трещины, сколы и т. д.) в структуре материала [4].

Процесс происходит путем электростатического притяжения молекул воды и отрицательно заряженных частиц бентонита. То есть вода проникает в микротрещины, вступает в контакт с бентонитом, вследствие чего материал расширяется и заполняет повреждения [4].

Самозалечивание бентонита — это свойство, которое обеспечивает эффективность применения данного материала в гидроизоляции и других областях, где требуется устойчивость к воздействию влаги.

### Виды гидроизоляционных материалов на основе бентонита

Существует ряд гидроизоляционных материалов, производимых на основе бентонита:

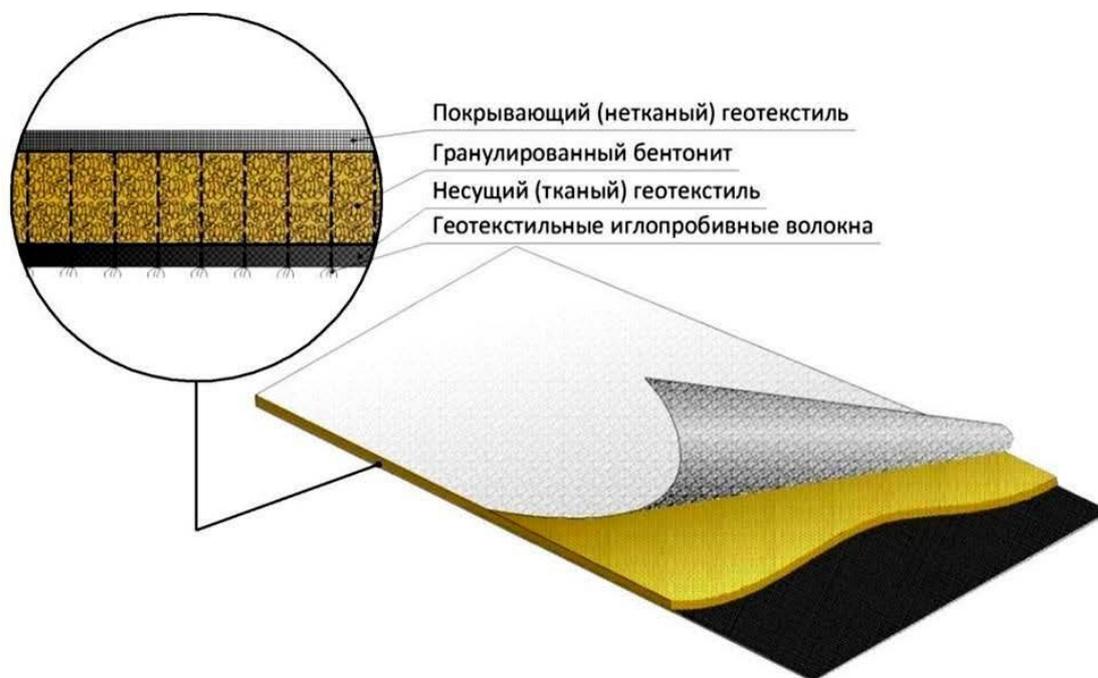
1. Бентонитовые маты (геосинтетические рулонные материалы) — это своего рода каркас из полипропиленовых волокон, внутри помещены гранулы активированного натриевого бентонита. Каркас бентонитового мата (см. рис. 1), в соответствии с классификацией ГОСТ Р 55028 материал относят к глиноматам с функцией гидроизоляции. Принцип бентонитовых матов основан на свойстве бентонита, которое при полной гидратации в свободном состоянии позволяет материалу разбухать и увеличивается в объеме. В случае ограничения свободного пространства в присутствии воды создается напряженное состояние в структуре образующегося геля, за счет которого обеспечивается водонепроницаемость материала [4].

Бентонитовые маты в большинстве случаев представлены в виде достаточно простой трехслойной конструкции, соединенной иглопробивным способом, состоящей:

- из нетканого полипропиленового полотна;
- из гранулированного бентонита;
- из тканого геотекстиля.

Текстильные материалы выполняют роль барьера, который не позволяет бентониту растекаться при переходе в гелеобразное состояние, и поддерживают целостное состояние всей гидроизоляционной конструкции. Более того, благодаря этим материалам конструкция может многократно менять свою форму и имеет способность самозалечиваться.

Бентонитовые маты являются самым распространенным способом применения бентонита в качестве гидроизоляционного материала.



**Рис. 1.** Конструкция бентонитового мата  
(источник: <https://polyline.ru/>)

2. Глиняный замок — это один из видов гидроизоляции, который используется для защиты фундаментов, подвалов и других строительных конструкций от воздействия влаги. Он заключается в создании слоя глины вокруг здания или сооружения, который препятствует проникновению воды (рис. 2).

Для устройства подобного вида гидроизоляции применяется сухая смесь на основе бентонитовых глин, как правило, для улучшения физико-химических свойств, полимерного композита, фракционированных песков и в некоторых случаях химических добавок. В результате получается гидро-

изоляционный слой, который при взаимодействии с водой образует высокоэффективный и экологически чистый материал [10]. Такой материал обладает следующими отличительными качествами:

- стойкость к размытию грунтовыми водами и растрескиванию;
- неограниченное количество циклов гидратации/дегидратации и легко переносит смену сезонов;
- сохранение барьерных свойств в течение всего периода эксплуатации сооружения;
- незначительные финансовые затраты на обустройство.



**Рис. 2.** Устройство глиняного замка с применением бентонитовых глин  
(источник: <https://kalmatron.ru/>)

3. Инъекционная бентонитовая гидроизоляция представляет собой инъекционные смеси на основе гранулированной смеси натриевого бентонита (монтморрилонит не менее 90 %) и полимерных доба-

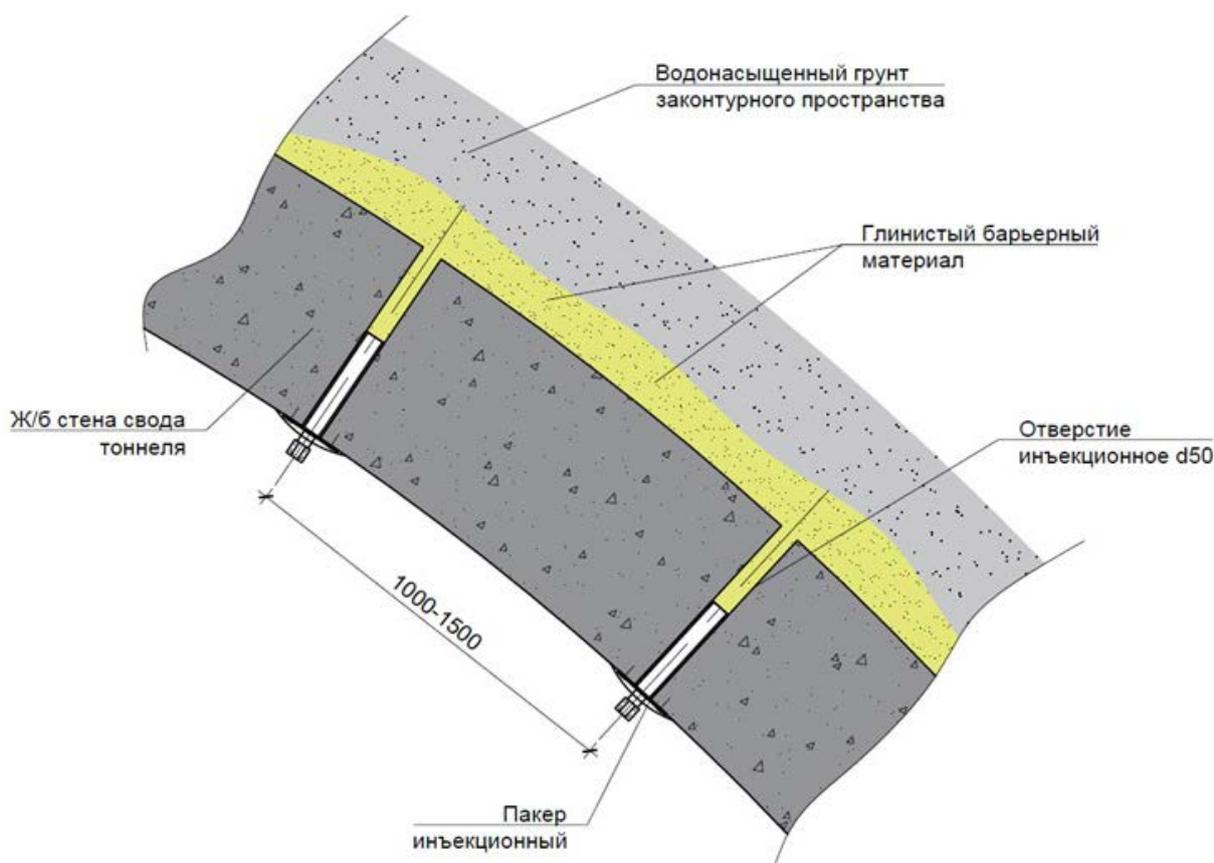
вок, существенно улучшающих свойства инъекционных бентонитовых растворов. При смешивании с водой такие смеси образуют вязкие инъекционные растворы, которые закачиваются в грунт за внешний

контур подземной конструкции при помощи насосов низкого давления (например, штукатурных станций). Схема устройства гидроизоляции методом законтурного инъецирования с применением глинистых растворов представлена на рис. 3. Примерно через 8 часов за внешним контуром защищаемого сооружения образуется гелевая оболочка – толстый водонепроницаемый и водостойкий изоляционный слой, не размываемый водой. Надолго или навсегда предохраняет конструкцию от замачивания [8].

Специальные бентонитовые инъеционные порошки можно использовать как для герметизации протечек в бетоне, так и при остановке водопритоков

в кирпичной и каменной кладке, а также при кладке из газобетонных и керамзитобетонных блоков и т. п. Это свойство делает бентонитовые инъеционные порошки незаменимыми при восстановлении гидроизоляции подземных сооружений, а также фундаментов и стен жилых и общественных зданий старого фонда, когда раскопка фундаментов нежелательна, а гидроизоляция изнутри подвальных помещений не спасает конструкции фундаментов от последующего разрушения и капиллярного подсоса влаги [8].

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики различных видов гидроизоляции, применяемых при устройстве фундаментов и подземных сооружений.



**Рис. 3.** Схема устройства гидроизоляции методом законтурного инъецирования с применением растворов на основе бентонита

ТАБЛИЦА 1. Сравнительные характеристики оклеечной, обмазочной и бентонитовой гидроизоляций

Характеристики	Обмазочная гидроизоляция	Оклеечная гидроизоляция	Бентонитовые маты
Срок службы	Ограничен (до 10 лет), после чего материал становится хрупким и неэластичным, возможно отслаивание от поверхности	Ограничен (до 10 лет)	Неограничен (ограничен долговечностью самого сооружения)
Устойчивость к агрессивным воздействиям	Средняя	Средняя	Средняя (при дополнительной полимеризации материал устойчив к морской воде)
Влияние низких (высоких) температур на материал	Многочисленный цикл замораживания/оттаивания (водопоглощение до 2 % в течение суток) ухудшает свойства материала	Ухудшает свойства материала	Многочисленный цикл замораживания/оттаивания не влияет на свойства
Влияние погодных условий во время строительства	Высокая зависимость	Высокая зависимость (проводить работы необходимо при положительной температуре)	Отсутствует
Требования к технологии и качеству работ	Высокие требования к соблюдению технологии работ	Высокие требования к соблюдению технологии работ	Незначительные требования
Ремонтопригодность	Ремонт связан с высокими трудовыми и материальными затратами	Ремонт связан с высокими трудовыми и материальными затратами	Эффект самозалечивания
Специальная подготовка поверхности перед нанесением	Требуется (перед нанесением поверхность необходимо покрыть слоем специальной грунтовки)	Требуется (поверхность должна быть сухой и прогрунтована эмульсией из битума)	Не требуется (поверхность может быть влажной и даже мокрой)
Количество наносимых слоев	От нескольких миллиметров до нескольких сантиметров (зависит от состояния поверхности)	В зависимости от напора воды (от 2 до 4 слоев)	1 слой
Дополнительные операции	Полив водой, укрытие полиэтиленовой пленкой (в случае использования материалов на цементной основе)	Обработка стыков (сварка или склейка), сушка (выдержка) оклеечного покрытия	Не требуется

### Заключение

Спрос на использование бентонита в качестве средства гидроизоляции растет с каждым годом. Это связано с тем, что все больше людей осознают важность защиты своих зданий от негативного воздействия влаги на конструкции. Кроме того, использование бентонита позволяет существенно снизить затраты на ремонт и обслуживание зданий и сооружений в ходе эксплуата-

ции, что также является важным фактором при выборе материала для гидроизоляции.

Бентонит обладает уникальными свойствами, которые делают его незаменимым в ряде строительных задач, таких как обеспечение надежной гидроизоляции, устойчивость к воздействию агрессивных сред, обеспечение экологической безопасности, обеспечение длительности срока эксплуатации.

Таким образом, можно констатировать, что данный материал является перспективным в использовании по прямому назначению для обеспечения долговечности гидроизоляции, который не требует дополнительных затрат при эксплуатации. Учитывая, что в настоящее время в строительстве есть задачи обеспечить надежность строительных объектов в условиях влажности, бентонит перспективно будет все более востребованным в строительной отрасли.

### Библиографический список

1. Лыгина Т. З., Сабитов А. А., Трофимова Ф. А. и др. Бентониты и бентонитоподобные глины: классификация, особенности состава, физико-химические и технологические свойства // Казань: издательство ЦНИИ геологии нерудных полезных ископаемых, 2005. 72 с.
2. Арифжанов А. М., Жураев Ш. Ш. Исследование водопроницаемости бентонита // Наука и мир, 2019. С. 33–35.
3. Кадырова З. Р., Сабиров Б. Т., Усманов Х. Л. и др. Гидроизоляционные материалы на основе бентонитовых глин новых месторождений Узбекистана // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. № 3. 2015. С. 16–19.
4. Кукарина Е. Е. Применение бентонитовых матов в качестве гидроизоляционных материалов в строительстве // Тенденции развития науки и образования. № 70 (2). 2021. С. 39–42.
5. Яковлев В. А., Степанов О. Н. Современные методы гидроизоляции // Твердые бытовые отходы. № 3. 2016. 19 с.
6. Завьялов С. В. Геосинтетика на основе бентонита // Башкирский экологический вестник. № 3–4. 2013. С. 20–26.
7. Каримов Э. М. Использование бентонитовой глины в качестве гидроизоляционного материала для основания и откосов автомобильной дороги южного региона Кыргызстана // Инженерный вестник Дона. № 2. 2018. С. 174.
8. Шилин А. А. Гидроизоляция подземных и заглубленных сооружений: выбор материалов // Технологии строительства. № 1. 2001. С. 40–42.
9. ООО «БентИзол»: производство геосинтетических бентонитовых материалов. [Электронный ресурс]. URL: <https://bentizol.ru>. URL: <https://bentizol.ru> (дата обращения: 10.05.2024).
10. ООО «Кальматрон-СПБ»: производство гидроизоляционных материалов. [Электронный ресурс] URL: <https://kalmatron.ru> (дата обращения: 10.05.2024).

Дата поступления: 01.04.2024

Решение о публикации: 06.05.2024

### Контактная информация:

МАЙЕР Роман Алексеевич — аспирант кафедры

«Строительные материалы и технологии»;

[romamayer1998@mail.ru](mailto:romamayer1998@mail.ru)

ЯКИМОВ Глеб Дмитриевич — аспирант кафедры

«Строительные материалы и технологии»;

[gleb981@yandex.ru](mailto:gleb981@yandex.ru)

ШАНГИНА Нина Николаевна — докт. тех. наук,

профессор кафедры «Строительные

материалы и технологии»;

[nina.shangina@gmail.com](mailto:nina.shangina@gmail.com)

САМОЙЛОВ Сергей Александрович — студент

4-го курса горно-нефтяного факультета УНГТУ;

[samoylovs@cloud.com](mailto:samoylovs@cloud.com)

## Use of bentonite clay as waterproofing material

R. A. Mayer<sup>1</sup>, G. D. Yakimov<sup>1</sup>, N. N. Shangina<sup>1</sup>, S. A. Samoilo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

<sup>2</sup> Ufa State Petroleum Technical University, 1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia

**For citation:** Mayer R. A., Yakimov G. D., Shangina N. N., Samoilo S. A. Use of bentonite clay as a waterproofing material // *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2024. Vol. 21, iss. 2. P. 380–390. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2024-02-380-390

### Abstract

**Purpose:** analytical study of usability bentonite is a natural mineral with high waterproofing and adsorption properties in various fields. **Methods:** methods of comparative analysis, synthesis, generalization, analogy were used. **Results:** this article examines various applications of bentonite, allowing to position bentonite as a universal material, which is widely used in various industries due to its unique properties. The advantages of bentonite over other waterproofing materials are noted, including environmental friendliness, durability, efficiency and economy. The properties of bentonite clay have been studied, the ability of which to swell and create a waterproofing barrier in contact with water makes it an effective material for protection against moisture. It is indicated that the high frost resistance of bentonite is ensured due to the complex structure of the material consisting of metal oxide atoms and silicon atoms, which form a dense structure. The interlayer space in which the exchange cations are concentrated is the physical and physicochemical basis for the sorption activity of bentonite clay rocks. Bentonite has been found to be of value in its self-healing properties, as is the case when used at negative temperatures. This is due to its molecular structure. The microscopic particles that make up bentonite have a negative charge, they are able to adsorb water molecules. **Practical significance:** waterproofing works are carried out in many areas of construction. However, bentonite materials are not widely used. In this aspect, the article describes in detail such waterproofing materials as bentonite mats, clay lock, injectable bentonite waterproofing. The authors believe that the demand for the use of bentonite as a reliable and promising means of waterproofing in the construction industry will increase.

**Keywords:** bentonite, waterproofing, performance properties, bentonite mats, clay lock, injectable bentonite waterproofing.

### References

1. Lygina T. Z., Sabitov A. A., Trofimova F. A. i dr. Bentonity i bentonitopodobnye gliny: klassifikaciya, osobennosti sostava, fiziko-himicheskie i tekhnologicheskie svoystva. // Kazan': izdatel'stvo CNII geologii nerudnyh poleznyh iskopaemyh, 2005. 72 s. (In Russian)
2. Arifzhanov A. M., Zhuraev Sh. Sh. Issledovanie vodopronicaemosti bentonita // *Nauka i mir*, 2019. S. 33–35. (In Russian)
3. Kadyrova Z. R., Sabirov B. T., Usmanov H. L. i dr. Gidroizolyacionnye materialy na osnove bentonitovyh glin novyh mestorozhdenij Uzbekistana // *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. № 3. 2015. C. 16–19. (In Russian)
4. Kukarina E. E. Primenenie bentonitovyh matov v kachestve gidroizolyacionnyh materialov v stroitel'stve // *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya*. № 70 (2). 2021. C. 39–42. (In Russian)
5. Yakovlev V. A., Stepanov O. N. Sovremennye metody gidroizolyacii // *Tverdye bytovye othody*. № 3. 2016. 19 s. (In Russian)
6. Zav'yalov S. V. Geosintetika na osnove bentonita // *Bashkirskij ekologicheskij vestnik*. № 3–4. 2013. C. 20–26. (In Russian)
7. Karimov E. M. Ispol'zovanie bentonitovoj gliny v kachestve gidroizolyacionnogo materiala dlya osnovaniya i otkosov avtomobil'noj dorogi yuzhnogo regiona Kyrgyzstana // *Inzhenernyj vestnik Dona*. № 2. 2018. C. 174. (In Russian)

8. Shilin A. A. Gidroizolyaciya podzemnyh i zaglublennyh sooruzhenij: vybor materialov // Tekhnologii stroitel'stva. № 1. 2001. С. 40–42. (In Russian)

9. ООО “BentIzol”: proizvodstvo geosinteticheskikh bentonitovyh materialov. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://bentizol.ru>. URL: <https://bentizol.ru> (data obrashcheniya: 10.05.2024). (In Russian)

10. ООО “Kal'matron-SPB”: proizvodstvo gidroizolyacionnyh materialov. [Elektronnyj resurs] URL: <https://kalmatron.ru> (data obrashcheniya: 10.05.2024). (In Russian)

Received: 01.04.2024

Accepted: 06.05.2024

**Author's information:**

Roman A. MAYER — graduate student of the Department of Construction Materials and Technologies; [romamayer1998@mail.ru](mailto:romamayer1998@mail.ru)

Gleb D. YAKIMOV — graduate student of the Department of Construction Materials and Technologies; [gleb981@yandex.ru](mailto:gleb981@yandex.ru)

Nina N. SHANGINA — PhD in Engineering; [nina.shangina@gmail.com](mailto:nina.shangina@gmail.com)

S. A. SAMOILOV — Student; [samoylovs@cloud.com](mailto:samoylovs@cloud.com)