

На правах рукописи

**ВЛАСОВ АНТОН СЕРГЕЕВИЧ**

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
БУРОВОГО ШЛАМА В ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА**

1.6.21 – Геоэкология

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Пермь – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Научный руководитель: **Пугин Константин Георгиевич,**  
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Ягафарова Гузель Габдулловна,**  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный  
нефтяной технический университет»,  
профессор кафедры «Прикладная экология»;

**Пичугин Евгений Александрович,**  
кандидат технических наук,  
заместитель начальника отдела проблем  
охраны окружающей среды Федерального  
государственного бюджетного учреждения  
«Уральский государственный научно-  
исследовательский институт региональных  
экологических проблем» (ФГБУ УралНИИ  
«Экология»)

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный  
университет»

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2022г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д ПНИПУ.05.12, созданного на базе ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», по адресу: 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, ауд. 345.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» ([www.pstu.ru](http://www.pstu.ru))

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д ПНИПУ.05.12  
кандидат технических наук, доцент

Е.В. Калинина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Разработка месторождений нефти и газа сопровождается образованием большого объема буровых шламов (БШ). Наличие в их составе опасных химических соединений, тяжелых металлов (ТМ), углеводородов формирует техногенный потенциал способный вызвать значительное загрязнение окружающей среды (ОС). Наибольшую опасность для ОС представляет буровой шлам, образующийся при использовании бурового раствора на углеводородной основе (БШУ). Практика долгосрочного размещения БШУ в шламовых амбарах (шламонакопителях) является одной из причин загрязнения геосфер мест добычи нефти и газа летучими и водорастворимыми компонентами этих отходов. Присутствие углеводородов и нефти в значимых количествах определяет не только высокую геоэкологическую опасность БШУ, но и представляет материальный ресурс, который может быть востребован при производстве целевых продуктов. Существующие методы извлечения нефти из БШУ рентабельны при ее концентрации более 8-10%. При более низком содержании углеводородов БШУ направляются на уничтожение или захоронение с потерей ценного ресурса. Проведенный предварительный анализ свойств БШУ показал, что высокодисперсная минеральная часть БШУ, нефть и нефтепродукты определяют технологическую возможность создания ресурсосберегающей технологии производства асфальтобетона, позволяющей экономить первичные минеральные материалы и битум. Гранулометрический состав БШУ позволяет использовать его в качестве мелкого минерального заполнителя в асфальтобетонах.

Наличие в БШУ нефти и механоактивированной минеральной части преобразованной при взаимодействии бурового инструмента с горной породой в среде углеводородов, при перемешивании с битумом при производстве асфальтобетона, позволяют регулировать процессы его структурообразования обеспечивая улучшение его физико-механических и эксплуатационных свойств. При таком подходе БШУ будет полностью вовлекаться в ресурсный цикл производства асфальтобетона, без выделения отдельных составных материальных частей и исключить формирование вторичного загрязнения в результате образования неутилизованных остатков. Создаваемая битумом гидрофобная водостойкая матрица и плотная структура асфальтобетона обеспечат приемлемый уровень экологической опасности при эксплуатации асфальтобетона произведенного с БШУ. Высокодисперсное состояние БШУ, наличие углеводородов и механоактивация минеральной части позволяют экономить энергетические ресурсы, затрачиваемые на производство минеральных компонентов асфальтобетона, что дополнительно обеспечивает экономическую целесообразность крупнотоннажного использования БШУ в производстве асфальтобетона. Научное обоснование оптимального состава асфальтобетона с применением БШУ позволит получить материал геоэкологически устойчивый, безопасный для ОС, рециркулируемый, не вызывающий загрязнения на всем протяжении его жизненного цикла. Внедрение в производство рекомендаций по использованию БШУ в составе асфальтобетонов позволит отказаться от его размещения в ОС, перейти к безамбарной технологии бурения, сократить потребление первичных природных сырьевых материалов, исключить загрязнение ОС, а также получить геоэкологически устойчивый безопасный для ОС эффективный строительный материал, востребованный на рынке.

В этой связи геоэкологическое обоснование использования БШУ в производстве асфальтобетона является актуальной задачей.

Тема диссертации соответствует **паспорту специальности ВАК 1.6.21 – Геоэкология**, по пункту 17.

**Степень разработанности темы.** Теоретической и методологической основой выполненного диссертационного исследования послужили опубликованные ранее работы: Булатова А.И., Войтенко В.С., Ежова М.Ю., Гапонова В.С., Гаевой Е.В., Косаревица И.В., Кузьмина Ю.И., Малышкина М.Ю., Мартыненко Е.Г., Некрасовой И.Л., Пичугина Е.А., Рудаковой Л.В., Рахматуллина Д.В., Сафарова А.Х., Скипина Л.Н., Тарасовой С.С., Терпелец В.И., Шеметова В.Ю., Ягофаровой Г.Г., Язикова Е.Г., Liu Dong-sheng, Leonard Sunday A., Neff J.M., Kujawska J., Schaanning M. и др.

**Цель диссертационной работы:** геоэкологическое обоснование использования бурового шлама в производстве асфальтобетона.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи**:

- определены физико-механические, химические, токсикологические свойства БШУ и определены условия его использования в составе асфальтобетона;
- разработан оптимальный состав асфальтобетона с БШУ обеспечивающий необходимые для дорожного строительства физико-механические характеристики;
- на основе проведения токсикологических, химических исследований дана оценка геоэкологической устойчивости асфальтобетона с БШУ оптимального состава;
- разработана технологическая схема и рекомендации по использованию БШУ в составе асфальтобетонов;
- проведена технико-экономическая оценка использования БШУ в составе асфальтобетона.

**Научная новизна работы:**

1. На основе анализа физико-механических, химических, токсикологических свойств БШУ предложено для снижения водномиграционной опасности химических соединений БШУ и достижения геоэкологической устойчивости целевого продукта использовать материальный ресурс БШУ в составе асфальтобетона. Установлено, что формируемая при этом структура асфальтобетона характеризуется водостойкостью, гидрофобностью, кислотостойкостью, с образованием прочных связей между битумом и БШУ, что обеспечивает приемлемый уровень экологической опасности при его эксплуатации.

2. Впервые установлен механизм взаимодействия БШУ и битума при структурообразовании асфальтобетона. Регулирование характеристик асфальтобетона обеспечивается свойствами минеральной части БШУ полученной при взаимодействии бурового инструмента с горной породой в среде углеводородов при высоком контактном давлении и высокой температуре. На минеральных частицах БШУ формируется механоактивированный поверхностный слой содержащий углеводороды, который обеспечивает прочные связи между битумом асфальтобетона и минеральной частью БШУ.

3. Впервые установлены закономерности изменения физико-механических характеристик асфальтобетона от содержания БШУ и битума. Определен оптимальный состав асфальтобетона: песок – 11-14%, щебень – 45-48%, отсев дробления – 35-39%, БШУ – 8%, битум БНД 90/130 – 4,9-5,1 % (свыше 100% смеси). Доказано, что при содержании БШУ 8% улучшаются характеристики асфальтобетона: показатель водонасыщения асфальтобетона снизился в 1,38 раз,

остаточная пористость уменьшилась в 1,18 раза, коэффициент водостойкости увеличился в 1,1 раза; прочность на сжатие при 20°C увеличилась в 1,13 раза; прочность на сжатие при 0°C снизилась в 1,16 раза.

4. Впервые произведена оценка водномиграционной опасности асфальтобетонов произведенных с добавлением БШУ. Установлено, что снижение водномиграционной опасности БШУ достигается за счет совместного участия нефтепродуктов и активированной мелкодисперсной минеральной части БШУ в процессах структурообразования асфальтобетона, с образованием прочных связей между БШУ и компонентами асфальтобетона. Это позволяет при оптимальном содержании БШУ (8% по массе) в составе асфальтобетона снизить миграцию в водные среды: хлоридов в 2,4 раз; ионов тяжелых металлов в подвижной форме от 30 до 200 раз, нефтепродуктов в 14,7 раза.

5. Впервые доказана геоэкологическая устойчивость асфальтобетона произведенного с использованием БШУ. По итогам проведения биотестирования установлено, что водная вытяжка не обладает эффектом токсичности на тест-объекты *Scenedesmus quadricauda* и *Daphnia magna Straus* при содержании БШУ в составе асфальтобетона до 12%. Полученные значения эмиссии химических соединений (хлоридов, свинца, марганца, никеля, меди), опасных для ОС, не превышают допустимые ПДК для вод и почвы.

**Теоретическая и практическая значимость.** Теоретическая значимость работы заключается в научном обосновании: способности БШУ встраиваться в структуру органоминеральных смесей с обеспечением водномиграционной опасности на допустимом уровне; регулирования физико-механических характеристик асфальтобетона с достижением повышенных показателей физико-механических характеристик; геоэкологической устойчивости асфальтобетона произведенного с использованием БШУ в качестве мелкого минерального заполнителя. Улучшение характеристик асфальтобетона обеспечивается механоактивированным поверхностным слоем минеральной части БШУ образующейся при взаимодействии бурового инструмента с горной породой в среде углеводородов при высоком контактном давлении и высокой температуре.

Практическая значимость работы:

- установлено, что использования БШУ в составе асфальтобетона позволяет снизить потребление первичных сырьевых материалов битума и горных пород, затрачиваемых на производство минерального порошка используемого в качестве мелкого заполнителя и регулятора структурообразования в асфальтобетоне, снизить негативное воздействие на ОС формируемое БШУ за счет отказа от долгосрочного хранения в шламонакопителях;

- технико-экономическое сравнение стоимости производства и укладки асфальтобетонной смеси с использованием БШУ и традиционного асфальтобетона показал, что экономия денежных средств на производство одной тонны асфальтобетона составляет 231 руб. (в ценах 2021 года);

Научные и практические знания, полученные в ходе работы над диссертацией, внедрены в учебный процесс ФГАОУ ВО ПНИПУ. На основе полученных результатов исследования получен патент № 2020144072 «Асфальтобетон». Разработанный оптимальный состав асфальтобетона с БШУ и рекомендации по его производству одобрены на ряде предприятий Пермского края занятых производством асфальтобетона, строительством и ремонтом автомобильных дорог,

что подтверждается актами ООО «МонолитСтрой» и «Аракс» г. Пермь, представленными в приложении диссертации.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта № FSNM-2020-0024 «Разработка научных основ экологически чистых и природоподобных технологий и рационального природопользования в области добычи и переработки углеводородного сырья».

#### **Методология и методы исследования.**

При исследовании использовались эмпирические и теоретические научные методы. При изучении физических химических, механических, токсикологических свойств образцов БШУ и асфальтобетонов использовались стандартные методики анализа, указанные в отраслевых нормативных документах. Для обработки результатов экспериментов использовались математические и статистические методы. Работы проводились на кафедрах «ООС» и «АДМ» ФГАОУ ВО ПНИПУ, лабораториях ФГАОУ ВО ПГНИУ, ФГБОУ ВО ПГАТУ, КГБУ «Аналитический центр»г. Пермь

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Физические, химические и токсикологические свойства БШУ месторождений Западной Сибири, оценка возможности использования БШУ в составе асфальтобетона.

2. Зависимость изменения физико-механических свойств асфальтобетона от содержания БШУ и битума в его составе. Оптимальный состав асфальтобетона при использовании в его составе БШУ удовлетворяющий требованиям нормативных документов на асфальтобетон.

3. Результаты исследований геоэкологической устойчивости асфальтобетона с БШУ на основе оценки его токсикологических свойств.

4. Технологическая схема и рекомендации по использованию БШУ в составе асфальтобетонов оценка их применения в дорожном строительстве.

**Степень достоверности результатов** диссертационного исследования подтверждается: использованием общепринятых стандартных методов используемых при исследованиях и испытаниях полученных образцов. Полученные данные не противоречат ранее опубликованным исследованиям.

**Апробация результатов.** Основные положения работы были доложены и обсуждены на конференциях разного уровня: междунар. конф. По пром. инжинирингу и современ. техн. «FarEastCon» (г.Владивосток, 2019г., 2020.); IV междунар. науч. конф.«От обращения отходов к управлению ресурсами» (г.Пермь, 2019г.); междунар. науч.-практ. конф. «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе» (г.Пермь, 2018, 2019, 2020г.), Всерос. науч.-практ. конф. «Химия. Экология. Урбанистика» (г.Пермь, 2019, 2021, 2022), Всерос. науч.-практ. конф.«Агротехнологии XXI века» (г.Пермь, 2019 г.), междунар. науч.-практ. конф. (г.Ростов-на-Дону, 2020 г) и др.

**Личный вклад автора** заключается в обосновании актуальности исследования, постановке цели и перечня решаемых задач; в непосредственном личном участии во всех проведенных экспериментах по изучению бурового шлама и асфальтобетона, его свойств и характеристик, интерпретации полученных данных; в обобщении результатов исследования; в написании и подготовке к публикациям научных трудов посвященных теме исследования.

**Публикации.** Основные положения диссертационного исследования опубликованы в 9 статьях, из которых 3 статьи в журналах, индексируемых в международных реферативных базах Scopus, Chemical Abstracts и патенте.

**Структура и объем работы.** Текст диссертации размещен на 130 страницах. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, библиографии из 97 источников и приложения. Текст содержит 39 рисунков, 25 таблиц.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** показаны актуальность темы исследования, цель работы и задачи для ее достижения. Представлены: научная новизна; теоретическая и практическая значимость; положения, выносимые на защиту. Отражены личный вклад автора, достоверность и апробация результатов диссертационного исследования.

**В первой главе** показано, что деятельность нефтедобывающих предприятий приводит к возникновению значительных объемов буровых отходов, долгосрочное размещение недостаточно обезвреженных в ОС формирует техногенное воздействие на геосферные оболочки Земли. Используемые технологии обращения с отходами бурения направленные на их захоронение или обезвреживание являются затратными, ведут к потере ценных ресурсных потенциалов и формируют значительное вторичное загрязнение ОС. Повышение требований обеспечения экологической безопасности ОС в местах добычи нефти и газа, внедрение метода безамбарного бурения требуют разработки новых технологий утилизации. Они должны отвечать общепринятому тренду вовлечения отходов в ресурсный цикл с получением геоэкологически устойчивых безопасных для окружающей среды целевых продуктов, снижать потребление природных сырьевых ресурсов, отвечать принципам экономики замкнутого цикла. Технологии утилизации должны иметь низкие затраты на их реализацию, а целевой продукт должен иметь высокую потребительскую стоимость и не оказывать неблагоприятное воздействие на ОС при использовании. Внедрение таких технологий позволит отказаться от долгосрочного размещения БШУ в шламонакопителях, перейти на метод безамбарного бурения, что в целом позволит достичь рационального использования ресурсов геосферных оболочек Земли с одновременным обеспечением их охраны.

Содержащиеся в БШУ нефть и нефтепродукты, химические соединения, ТМ в подвижной и неподвижной формах, высокая степень измельчения БШУ, формируют повышенную опасность для ОС. Используемые в настоящее время методы обезвреживания буровых шламов (термические, химические) направлены на извлечение из них углеводородов, с последующим захоронением минеральных остатков. При их реализации используется большое количество материальных и энергетических ресурсов, формируется вторичное загрязнение ОС. Технологии, направленные на выделение одного ресурсного потенциала из БШУ с потерей другого малоэффективны, и не могут отвечать принципам экономики замкнутого цикла.

Большинство методов утилизации БШУ основаны на технологических процессах, способных переводить подвижные формы ТМ в неподвижные, либо образовывать новые малоопасные для ОС химические соединения, с получением строительных или рекультивационных материалов. Геоэкологическая безопасность получаемых продуктов при их использовании обеспечивается долгосрочным снижением скорости миграции загрязняющих агентов в окружающие среды.

Анализ технологических решений по утилизации БШУ позволил выдвинуть гипотезу о возможности использования материального ресурса БШУ в технологии

получения асфальтобетона. Геоэкологическая устойчивость асфальтобетонов с БШУ будет обеспечена снижением миграционной подвижности ТМ и опасных для ОС химических соединений, входящих в состав БШУ, за счет их размещения в монолитной, гидрофобной, кислото- щелоче- и солестойкой структуре асфальтобетона, вовлечения углеводородов и минеральной части БШУ в процессы структурообразования асфальтобетона с созданием долговременных, прочных связей.

Известно, что асфальтобетон используемый в дорожном строительстве является достаточно хорошо рециклируемым материалом, что обеспечит долговременное использование БШУ в ресурсном цикле. Использование БШУ в производстве асфальтобетона позволит: перейти на безамбарное бурение, что будет способствовать улучшению экологической обстановки мест добычи нефти и газа; снизить потребление первичных природных сырьевых ресурсов при производстве асфальтобетона с обеспечением рециркуляции материального ресурса; создать технологию отвечающую принципам экономики замкнутого цикла.

**Во второй главе** представлены объекты и методы исследования. Описаны применяемые методы исследования физико-химических, физико-механических, токсикологических свойств БШУ и асфальтобетона.

Для исследования были использованы образцы БШУ с четырех месторождений нефтедобывающих предприятий Западной Сибири. Анализ физико-химических характеристик образцов БШУ проводили по стандартным методикам, разработанным для количественного химического анализа: ПНД Ф 14.1:2.100-97; ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97; ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.32-02; ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.28-02; ПНД Ф 14.1 2 3.98-97; РД 52.24.391-2008; РД 52.18.685-2006; ПНД Ф 16.1:2.3:3.50-08; ПНД Ф 14.1:2:4.5-95 и др.

Аналитические исследования буровых шламов проводили в лаборатории кафедры Охраны окружающей среды ФГАОУ ВО ПНИПУ, КГБУ «Аналитический центр», г.Пермь, ООО «Центр аналитических исследований и экологического мониторинга».

Для определения влияния БШУ на структурообразование и установление его оптимального содержания в составе асфальтобетона использован асфальтобетон тип Б II марки, мелкозернистый, как наиболее широко распространенный в дорожном строительстве. Исследования физико-механических характеристик проводились в соответствии требованиям ГОСТ 9128-2013 на поверенном оборудовании в лаборатории «Дорожные исследования», ФГАОУ ВО ПНИПУ. Для приготовления асфальтобетона был использован следующий компонентный состав: природный песок фракции 0-5 мм в соответствии с ГОСТ 8735-2014; щебень, 10-20 мм ГОСТ 8267-93; отсев дробления, 0 - 5 мм ГОСТ 8735-2014; битум БНД 90/130, ГОСТ 22245-90. БШУ использовали в качестве минерального порошка в количестве от 0 до 12%.

Токсикологические характеристики асфальтобетона полученного с БШУ оценивались согласно методикам МУ 2.1.674-97, ФР. 1.39.2007.03222 и ФР. 1.39.2007.03223.

**В третьей главе** представлены результаты исследования физико-химических характеристик БШУ и физико-механических свойств асфальтобетона полученного с использованием БШУ. Обобщенные характеристики исследованных образцов БШУ представлены в таблице 1.

Таблица 1.Обобщенные характеристики исследованных образцов БШУ





Прошло через сито, %	Образец 1	100	100	99,87	99,68	99,39	98,8	92,97	85,82
	Образец 2	99,5	98,7	96,37	92,93	83,66	75,96	64,6	54,87
	Образец 3	100	99,96	99,89	99,75	99,31	98,61	96,72	94,8
	Образец 4	100	99,16	97,46	96,09	92,13	88,4	82,4	66,77

Проведенные исследования обобщенных характеристик, гранулометрический состав БШУ позволили сделать вывод, что в сухом виде БШУ может быть использован в качестве минерального порошка при производстве асфальтобетона. Образовавшиеся в среде углеводородов и нефти при высоких температурах и давлении минеральные частицы БШУ, имеющие механоактивированный поверхностный слой, содержащий углеводороды, могут быть использованы в структуре асфальтобетона в качестве активированного минерального порошка. Геоэкологическая безопасность достигается за счет размещения опасных химических соединений БШУ в водо- кислотостойкой среде битума.

Для установления влияния механоактивированного слоя минеральных частиц и углеводородов БШУ на характеристики асфальтобетона, были проведены сравнительные испытания образцов с использованием буровых шламов на глинистой (водной) основе (БШГ) и БШУ, взятых с одного месторождения. Для исследований был использован БШУ образец 3 (с показателями таблица 2, 3 и 4), как имеющий в своем составе наибольшее количество углеводородов. Основные физико-механические характеристики образцов асфальтобетона (АБ) с БШГ и БШУ приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные физико-механические свойства образцов АБ

Показатели	Требования ГОСТ 9128	АБ (контрольный)	АБ с БШГ 8%	АБ с БШУ 8%
Трещиностойкость (при расколе)	3,0-6,5	5,01	3,8	5,15
Водонасыщение, %	1,5-4,0	1,88	1,55	1,38
Сдвигустойчивость, не менее	0,81	0,95	0,72	0,93
Водостойкость, не менее	0,85	0,90	0,72	0,98
Предел прочности, (МПа):				
при 20°C, не менее	2,20	3,75	2,98	4,26
при 50°C, не менее	1,00	1,47	0,91	1,45
при 0°C, не более	12,00	9,93	9,80	8,53

Установлено, что асфальтобетон с БШУ имеет более высокие физико-механические показатели. Это доказывает наличие на минеральных частицах БШУ механоактивированного поверхностного слоя, который обеспечивает прочные связи между битумом асфальтобетона и минеральной частью БШУ, что обеспечит снижение водномиграционной опасности БШУ и управление процессами структурообразования в асфальтобетоне.

Для установления оптимального состава асфальтобетонной смеси были сформованы 3 серии асфальтобетонных образцов с различным содержанием БШУ (таблица 6).

Таблица 6 – Физико-механические характеристики АБ с различным содержанием БШУ

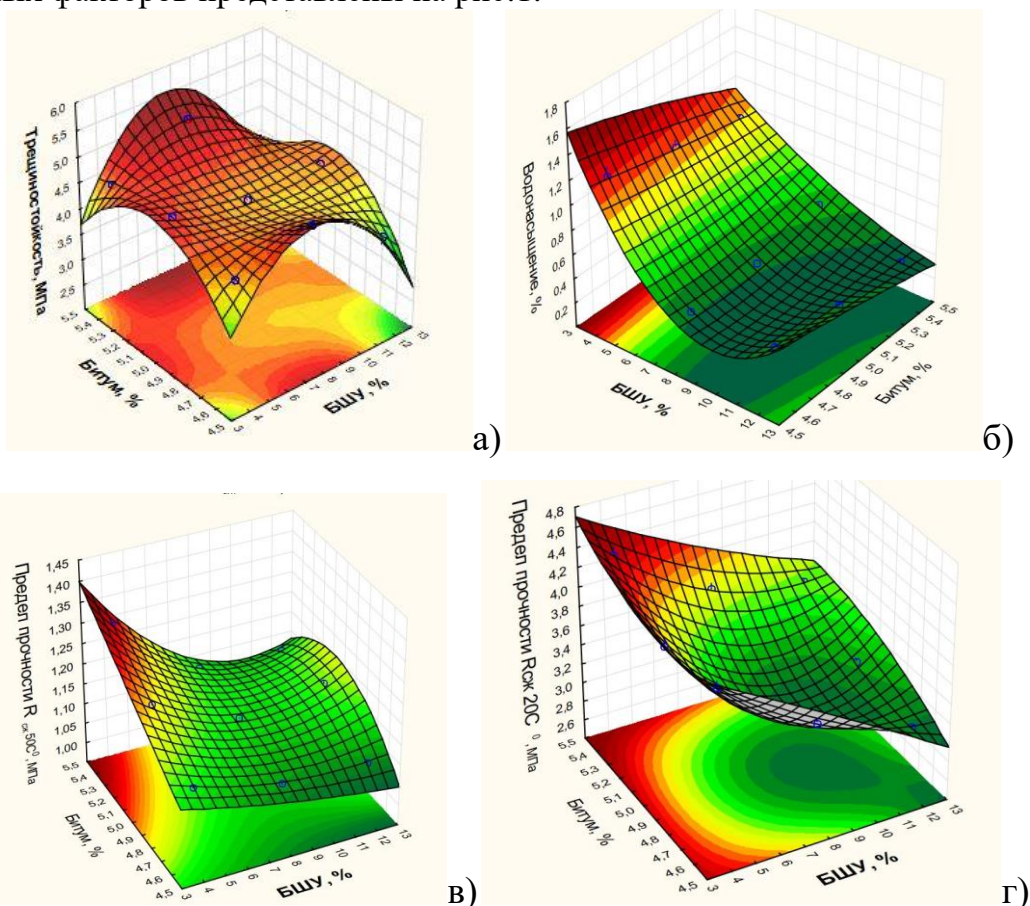
Показатели	Требования ГОСТ 9128	АБ без БШУ	АБ с БШУ 4%	АБ с БШУ 8%	АБ с БШУ 12%
Пористость минеральной части, %	14-19	15,39	15,4	14,5	13,1
Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	-	2,43	2,43	2,44	2,45
Остаточная пористость, %	2,5-5,0	3,57	3,2	3,01	2,02
Трещиностойкость(при расколе)	3,0-6,5	5,01	5,08	5,15	4,18
Водонасыщение, %	1,5-4,0	1,88	1,55	1,38	1,19

Сдвигоустойчивость по: коэфф. внутрен. трения	>0,81	0,95	0,91	0,93	0,92
Сдвигоустойчивость по сцеплению	>0,35	0,42	0,38	0,36	0,30
Водостойкость,	>0,85	0,90	0,96	0,98	0,96
Предел прочности (МПа):					
Рсж при 20°C,	>2,20	3,75	4,38	4,26	3,56
Рсж при 50°C,	>1,00	1,47	1,31	1,45	1,34
Рсж при 0°C,	<12,00	9,93	9,80	8,53	9,26

Увеличение содержания БШУ более 8% в составе асфальтобетона приводит к снижению прочности асфальтобетона. Это обусловлено неоднородностью состава БШУ, присутствием хлоридов, реагентов бурового раствора, которые способствуют ухудшению адгезии битума к минеральным частицам.

С использованием системы статистического анализа «Statistica 10» было установлено влияние БШУ на физико-механические показатели асфальтобетона. За фактор  $X_1$  выбрано процентное содержание БШУ ( $X_1=8\pm 4$ ), а за фактор  $X_2$  выбрано процентное содержание битума ( $X_2=5\pm 0,4$ ) в асфальтобетонных смесях. По результатам исследований были получены уравнения регрессии и построены математические модели основных физико-механических показателей асфальтобетона.

Трехмерные поверхности зависимости показателей асфальтобетона от выбранных факторов представлены на рис. 1.



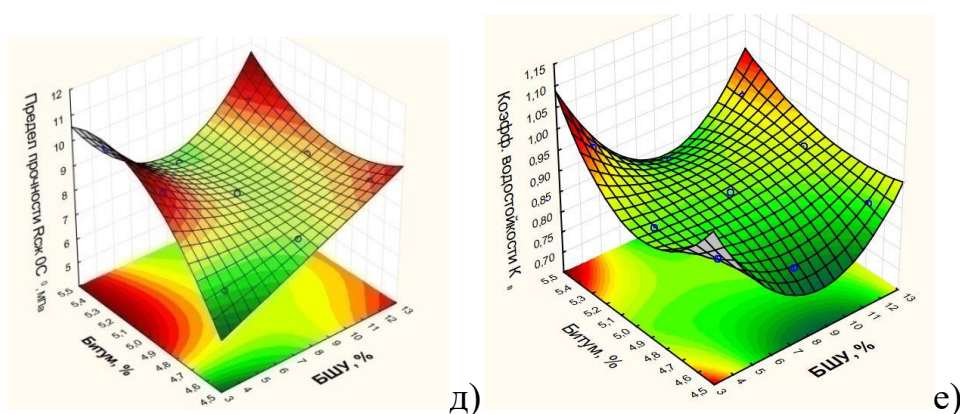


Рис. 1. Трехмерные поверхности а) показатель трещиностойкости, б) коэффициент водонасыщения, в) предел прочности ( $R_{сж}$  при  $50C^{\circ}$ ), г) предел прочности ( $R_{сж}$  при  $20C^{\circ}$ ), д) предел прочности ( $R_{сж}$  при  $0C^{\circ}$ ), е)  $K_{вд}$  коэффициент водостойкости.

Обработка результатов расчета показала, что оптимальное значение основных показателей находятся в интервале  $X_1 = 6-10\%$  и  $X_2 = 4,8-5,1\%$ . Большинство моделей имеют седловидные формы, что указывает на оптимальное значение содержания БШУ (8%) и битума (4,9-5,0%). Недостаток или избыток переменных ведет к снижению физико-механических показателей асфальтобетона, что обусловлено особенностями структурообразования асфальтобетона. Исследования изменения свойств асфальтобетона показали целесообразность использования БШУ в составе асфальтобетона в качестве минерального порошка. Дополнительно были проведены исследования БШУ на предмет удовлетворения требованиям установленным ГОСТ 52129-2003 для минерального порошка. Исследования показали, что БШУ образующийся при использовании буровых растворов на углеводородной основе удовлетворяет требованиям ГОСТ на минеральный порошок. Силовое воздействие бурового инструмента на горные породы в присутствии нефти и углеводородов формирует на поверхности минеральных частиц битуминозные пленки, которые в последствии могут быть рассмотрены в качестве механоактивированного слоя способного создать прочные связи между битумом и минеральным наполнителем при структурообразующих процессах формирования асфальтобетона.

**В четвертой главе** разработана технологическая схема получения минерального порошка из БШУ, даны рекомендации по его использованию и определен материальный баланс процессов получения асфальтобетона с использованием БШУ в качестве мелкого минерального заполнителя рис.2.

БШУ после исследования физико-химических свойств подается в печь кипящего слоя для доведения до оптимальной влажности 0,1-2,5%, что соответствует требованию ГОСТ на минеральный порошок. Температура сушки составляет  $100-150^{\circ}C$ . Время сушки зависит от начальной влажности БШУ. Для очистки от пыли загрязненные газы поступают в циклон, а затем в адсорбер, где происходит очистка от углеводородов. Крупную фракцию минеральной части БШУ отправляют на мельницу для измельчения. Полученный минеральный порошок поступает на линию производства асфальтобетона, где смешивается с минеральными компонентами и битумом при температуре от  $150-190^{\circ}C$  в зависимости от марки выпускаемого асфальтобетона. Предлагаемый процесс производства асфальтобетона позволяет сохранить традиционную схему, отличительная особенность заключается в использовании в качестве минерального порошка БШУ.

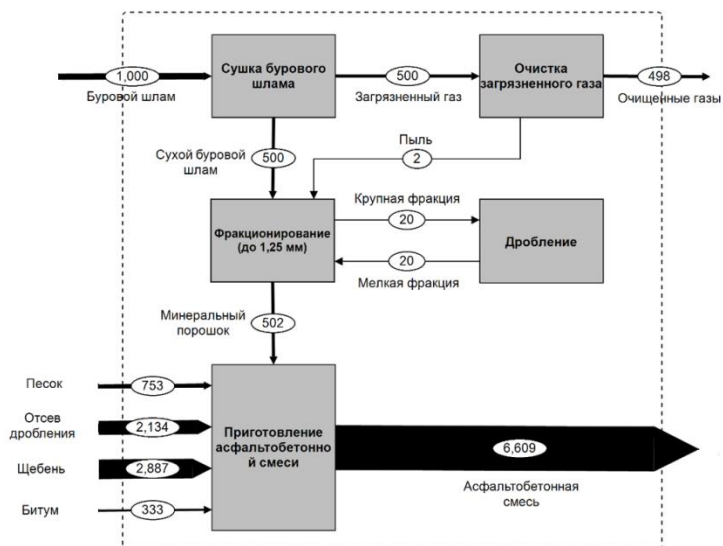


Рис. 2 Материальный баланс технологии получения асфальтобетона с использованием БШУ

(АБ) с БШУ (содержание 12 %) проведены по методикам МУ 2.1.674-97. Водные вытяжки из образцов асфальтобетонов были получены стандартным способом (при  $pH=4,8$  (ацетатно-аммонийного буферный раствор) и  $pH=6,8$  (дистиллированная вода)) и с использованием натурального эксперимента, заключающегося в воссоздании естественных условий эксплуатации дорожной конструкции.

Содержание хлоридов в водной среде при размещении в ней образцов асфальтобетона (БШУ-12%) представлено в таблице 7.

Таблица 7 – Содержание хлорид-ионов ( $Cl^-$ ) в водных вытяжках,  $мг/дм^3$

Образец	Сутки							
	1	3	7	10	20	30	40	60
АБ без БШУ, $pH=6,8$	35,4	43,1	53,1	63,1	70,9	71,9	72,8	74,1
АБ с БШУ, $pH=6,8$	78,6	96,3	104,1	118,8	138,7	148,4	152,2	150,7
АБ с БШУ, $pH=4,8$	103,3	131,1	163,5	192,4	214,5	232,8	243,1	244,2
АБ с БШУ модельная среда,	55,4	64,2	70,2	86,1	90	95,1	92,9	91,0
АБ без БШУ модельная среда,	32,1	38,8	45,6	54,2	68,1	69,3	69,8	70,3

Концентрация хлоридов не превышает нормы ПДК ( $ПДК=350 \text{ мг/дм}^3$ ), что свидетельствует об отсутствии недопустимого воздействия на ОС. Содержание нефтепродуктов в водной среде при размещении в ней образцов асфальтобетона представлено в таблице 8.

Таблица 8 – Содержание нефтепродуктов в водной среде,  $мг/дм^3$

Образец	10 суток	20 суток	30 суток	60 суток	ПДК
АБ без БШУ, $pH=6,8$	<0,04	0,06	0,08	0,08	0,10
АБ с БШУ, $pH=6,8$	<0,04	0,08	0,09	0,09	0,10
АБ с БШУ, (буферный раствор) $pH=4,8$	0,06	0,09	0,10	0,10	0,01
АБ с БШУ модельная среда	<0,04	0,08	0,09	0,09	0,10

Исследование показало, что содержание нефтепродуктов в водной вытяжке из асфальтобетона с БШУ соответствует содержанию нефтепродуктов в водной вытяжке из асфальтобетона, произведенного из природных сырьевых компонентов. Это позволяет сделать вывод о том, что вымывания нефтепродуктов непосредственно из БШУ не происходит. Содержание ТМ в водной среде при размещении в ней образцов асфальтобетона представлено в таблице 9. Концентрация тяжелых металлов значительно меньше ПДК, поэтому опасное негативное воздействия не формируется.

В главе 5 представлена оценка геоэкологической устойчивости асфальтобетона оптимального компонентного состава. Выполнен технико-экономический анализ производства асфальтобетонной смеси.

Геоэкологическая устойчивость оценивалась по величине миграции загрязняющих агентов из асфальтобетона в водные среды. Токсикологические, санитарно-химические исследования характеристик асфальтобетонов

устойчивость оценивалась по величине миграции загрязняющих агентов из асфальтобетона в водные среды. Токсикологические, санитарно-химические исследования характеристик асфальтобетонов

Таблица 9 – Содержание тяжелых металлов в водной среде, мг/л

Металл	Сутки				ПДК
	10	20	30	60	
Cd	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	1
Co	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	5
Ni	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	4
Pb	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	6
Cu	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	3
Mn	<0,07	0,1	0,2	0,25	600

Для проведения анализа биотестирования (определение токсичности) использовали два тест-объекта разных видов: водоросли – *Scenedesmus quadricauda* (Turp) Breb. и ракообразные – *Daphnia magna* Straus по ФР. 1.39.2007.03222 и ФР. 1.39.2007.03223. Результаты исследований представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Оценка острой токсичности с помощью *Scenedesmus quadricauda*

№ п/п	Концентрация, %	I, %	Оценка токсичности
1	100	-29,0	не оказывает
2	10	6,7	не оказывает
3	1	8,8	не оказывает

На основании эксперимента по определению острой токсичности установлено: ИКР<sub>50-72</sub> = 0, БКР<sub>20-72</sub> = 1. Неразбавленная водная вытяжка из образца асфальтобетона с БШУ не оказывает острого токсического действия.

На основании эксперимента по определению острой токсичности АБ образцов с БШУ на ракообразных *Daphnia magna* Straus установлено: ЛКР<sub>50-96</sub> = 0, БКР<sub>10-96</sub> = 1. При контакте с водными средами асфальтобетон с БШУ не оказывает острого токсического действия на тест-объекты.

На основании проведенных исследований доказано, что при использовании БШУ до 12% в составе асфальтобетона возможно получение строительного материала отвечающего требованиям геоэкологической безопасности. Его экологическая безопасность обеспечивается за счет размещения БШУ в монолитной, гидрофобной, кислото-щелоче- и солестойкой структуре асфальтобетона, вовлечении углеводов и минеральной части БШУ в процессы структурообразования асфальтобетона с созданием долговременных, прочных связей.

При производстве асфальтобетонной смеси с применением БШУ экономия денежных средств на производство 1000 т смеси, составит 231840 руб. по сравнению с традиционным асфальтобетоном.

#### **Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы исследования.**

В качестве одного из дальнейших перспективных направлений исследований ресурсного потенциала буровых шламов является изучение возможности их использования для получения других органоминеральных композиций для нужд строительной отрасли. Органоминеральные композиционные материалы, обладая водостойкой, гидрофобной и плотной структурой, позволяют использовать в своем составе отходы, обладающие водномиграционной опасностью. Использование этой особенности позволяет разрабатывать ресурсо- энергосберегающие технологии получения строительных материалов с использованием промышленных отходов.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Анализ физико-механических, химических, токсикологических свойств БШУ показал, что для снижения водномиграционной опасности химических соединений БШУ и достижения геоэкологической устойчивости целевого продукта

возможно использовать процессы структурообразования асфальтобетона. Структура асфальтобетона характеризуется водостойкостью, гидрофобностью, кислотостойкостью, способна образовывать прочные связи между битумом и БШУ, что обеспечивает приемлемый уровень экологической опасности при эксплуатации асфальтобетона произведенного с БШУ, сохраняя его способность к рециркуляции.

2. Регулирование характеристик асфальтобетона обеспечивается свойствами минеральной части БШУ полученной при взаимодействии бурового инструмента с горной породой в среде углеводородов при высоком контактном давлении и высокой температуре. На минеральных частицах БШУ формируется механоактивированный поверхностный слой содержащий углеводороды, который обеспечивает прочные связи между битумом асфальтобетона и минеральной частью БШУ.

3. Физико-механические свойства БШУ позволяют его использовать в качестве мелкого минерального заполнителя (минерального порошка) в составе асфальтобетона без удаления из его состава отдельных элементов. Установлен оптимальный состав асфальтобетона с БШУ: песок – 11-14%, щебень – 45-48%, отсев дробления – 35-39%, БШУ – 8%, битум БНД 90/130 – 4,9-5,1 % (свыше 100% смеси). Доказано, что при содержании БШУ 8% улучшаются характеристики асфальтобетона: показатель водонасыщения асфальтобетона снижается в 1,38 раз, остаточная пористость уменьшается в 1,18 раза, коэффициент водостойкости увеличивается в 1,1 раза; прочность на сжатие при 20°C увеличивается в 1,13 раза; прочность на сжатие при 0°C снижается в 1,16 раза.

4. Оценка водномиграционной опасности асфальтобетонов произведенных с добавлением БШУ показала, что ее снижение достигается за счет совместного участия нефтепродуктов и активированной мелкодисперсной минеральной части БШУ в процессах структурообразования асфальтобетона, с образованием прочных связей между БШУ и компонентами асфальтобетона. При оптимальном содержании БШУ (8%) в составе асфальтобетона достигается снижение миграции в водные среды: хлоридов в 2,4 раза; ионов тяжелых металлов в подвижной форме от 30 до 200 раз, нефтепродуктов в 14,7 раза..

5. Исследование токсикологических свойств асфальтобетона с БШУ (до 12%) показало отсутствие негативного воздействия на окружающую среду. По итогам проведения биотестирования установлено, что водная вытяжка не обладает эффектом токсичности на тест-объекты *Scenedesmus quadricauda* и *Daphnia magna Straus* при содержании БШУ в составе асфальтобетона до 12%. Полученные значения эмиссии химических соединений (хлоридов, свинца, марганца, никеля, меди), опасных для ОС, не превышают допустимые ПДК для вод и почвы.

6. Производство 1000 т асфальтобетона с использованием БШУ в качестве минерального порошка позволяет экономить денежные средства в размере 231840 руб. Получаемый из БШУ продукт (минеральный порошок) имеет высокую рыночную стоимость (более 2500 руб. за тонну). Экономический эффект достигается за счет: ресурсосбережения природных сырьевых материалов; отказа от сооружения и содержания шламохранилищ; исключения размещения БШУ в ОС.

7. Разработанные технология и рекомендации по использованию БШУ в качестве мелкого минерального заполнителя в составе асфальтобетона, позволяют: вовлечь крупнотоннажные отходы в ресурсный цикл производства геоэкологически устойчивого безопасного для ОС способного к рециркулированию целевого продукта; реализовать ресурсосберегающую технологию производства

асфальтобетона, отвечающую принципам экономики замкнуто цикла; снизить техногенное воздействие на ОС в местах добычи нефти и газа, за счет перехода на безамбарное бурение и отказа от устройства шламохранилищ.

### СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ

**Публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях и в изданиях, приравненных к ним:**

1. Власов А.С., Пугин К.Г., Сурков А.А. Геоэкологическая оценка технологии использования отходов бурения в составе асфальтобетона // Нефтяное хозяйство. - 2020. - №. 12. - С. 139-142 (**Scopus, Chemical Abstracts**).

2. Vaisman Y.I., Vlasov A.S., Pugin K.G. Using the resource potential of drill cuttings in road construction // IOP Conference series: Earth and Environmental science. 2020. - 459(2),022078 (**Scopus**).

3. Власов А.С., Пугин К.Г., Тюрюханов К.Ю., Рудакова Л.В., Глушанкова И.С., Сурков А.А. Разработка способа получения геоэкологически безопасных материалов на основе бурового шлама для дорожного строительства // Экология и промышленность России. - 2020. - Т. 24. - № 11. - С. 19-23 (**Scopus, Chemical Abstracts**).

#### Патент

4. Асфальтобетон. Пат. 2755172. Сурков А. А., Пугин К. Г., Глушанкова И. С., Рудакова Л. В., Власов А. С., и др. № 2020144072; заявл. 22.12.2020; опубл. 29.12.2020, Бюл. № 26. бс.

#### Прочие работы по теме диссертации:

5. Глушанкова И.С., Сурков А.А., Власов А.С., Гузев И.А., Елькин А.В. Разработка способов получения геоэкологически безопасных продуктов на основе бурового шлама // Нефть. Газ. Новации. - 2020. - № 4 (233). - С. 62-66.

6. Пугин, К.Г. Власов А.С. Технология использования отходов бурения с высоким содержанием углеводородов в дорожном строительстве // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. - 2022. - № 1. - С. 65–71.

7. Власов А.С., Пугин К.Г., Тюрюханов К.Ю., Глушанкова И.С., Рудакова Л.В. Использование отходов бурения в составе дорожно-строительных материалов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. - 2019. - №. 3. - С. 510-521.

8. Власов А.С., Пугин К.Г. Использование ресурсного потенциала бурового шлама нефтяных месторождений Западной Сибири в строительстве дорог // XII Конгресс обогатителей стран СНГ: Сбор. мат. 25-27 февраля 2019 г. М: Изд-во ИТЕП. 2019. С. 26-33.

9. Vlasov A.S., Pugin K.G. Development of a Method for Minimizing the Negative Environmental Impact of Drill Cuttings by Using It as a Mineral Powder in Asphalt Concrete // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1079 (2021) 072024. DOI:10.1088/1757-899X/1079/7/072024.

10. Управление природно-техногенной системой «буровой шлам - окружающая среда» с целью обеспечения ее геоэкологической устойчивости / Власов А.С., Пугин К.Г. // Химия. Экология. Урбанистика. Материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (г. Пермь, 22-23 апреля 2021 г.). - 2021. - Т. 2021-1. С. 16-20.