

УДК 627.81:624.138.24
AGRIS P01

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/126/34>

СНИЖЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ТОКТОГУЛЬСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ВЫСОКОДИСПЕРСНЫМ ОКСИДОМ КРЕМНИЯ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

©*Ташполотов Ы.* ORCID: 0000-0001-9293-7885, SPIN-код: 2425-6716, д-р физ.-мат. наук,
Ошский государственный университет, г. Ош, Кыргызстан, itashpolotov@mail.ru
©*Адылова Э. С.*, ORCID: 0000-0002-1886-6932, SPIN-код: 6609-9843, Кыргызско-узбекский
международный университет им. Б. Сыдыкова, г. Ош, Кыргызстан, A_elmira01@mail.ru

SEEPAGE REDUCTION IN THE TOKTOGUL RESERVOIR USING HIGHLY DISPERSED SILICON OXIDE: TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC ASPECTS

©*Tashpolotov Y.*, ORCID: 0000-0001-9293-7885, SPIN-code: 2425-6716, Dr. habil.,
Osh State University, Osh, Kyrgyzstan, itashpolotov@mail.ru
©*Adylova E.*, ORCID: 0000-0002-1886-6932, SPIN-code: 6609-9843, Kyrgyz-Uzbek International
University named after B. Sydykov, Osh, Kyrgyzstan, A_elmira01@mail.ru

Аннотация. Рассматривается проблема значительных потерь водных ресурсов Токтогульского водохранилища вследствие фильтрации через ложе, объем которых достигает 1,86 млрд м³ ежегодно. Объектом исследования является технология снижения водопроницаемости донных грунтов с применением аморфного диоксида кремния (АДК), полученного путем управляемого пиролиза рисовой шелухи. В работе предложен метод напорной и гравитационной инъекции высокодисперсных коллоидных систем АДК в грунт для создания противофильтрационного барьера за счет эффекта коагуляции микропор и трещин. Проведен сравнительный технико-экономический анализ эффективности предлагаемого метода в сопоставлении с традиционными способами (бетонирование, использование геомембран). Научно обосновано, что высокая удельная поверхность и реакционная способность АДК обеспечивают снижение коэффициента фильтрации грунта в 10–50 раз. Экономические расчеты показали, что при суммарных инвестициях в 65 000 долл. США потенциальный предотвращенный ущерб составляет 46,5 млн долл. США в год, что подтверждает высокую рентабельность технологии. Внедрение данной инновационной технологии позволит не только решить задачу утилизации сельскохозяйственных отходов, но и существенно повысить энергетическую безопасность Кыргызской Республики за счет сохранения водных ресурсов для гидрогенерации в зимний пик нагрузок.

Abstract. The article addresses the issue of significant water losses in the Toktogul reservoir due to seepage through the bed, which reaches 1.86 billion m³ annually. The object of study is the technology for reducing the permeability of bottom soils using amorphous silica (AS), obtained through the controlled pyrolysis of rice husk. The study proposes a method of pressure and gravity injection of highly dispersed colloidal amorphous silica (AS) systems into the soil to create an anti-seepage barrier through the effect of colmatation (clogging) of micropores and cracks. A comparative technical and economic analysis of the effectiveness of the proposed method in comparison with traditional methods (concreting, use of geomembranes) was carried out. It is scientifically substantiated that the high specific surface area and reactivity of AS provide a reduction in the soil filtration coefficient by 10–50 times. Economic calculations showed that with total investments of 65,000 USD, the potential prevented damage amounts to 46.5 million USD per year, which confirms

the unprecedented profitability of the technology. The implementation of this innovative technology will not only solve the problem of agricultural waste disposal but also significantly increase the energy security of the Kyrgyz Republic by preserving water resources for hydro-generation during the winter peak loads.

Ключевые слова: Токтогульское водохранилище, фильтрация воды, аморфный диоксид кремния, рисовая шелуха, кольматация, энергетическая безопасность, пиролиз, гидротехника, экономическая эффективность.

Keywords: Toktogul reservoir, water seepage, amorphous silica, rice husk, colmatation, energy security, pyrolysis, hydraulic engineering, economic efficiency.

Токтогульское водохранилище является ключевым объектом энергетической системы Кыргызской Республики, обеспечивающим работу крупнейшей ГЭС страны. Однако эффективность его эксплуатации снижается из-за значительных потерь воды. По гидрологическим оценкам, объем фильтрационной просачивающейся воды составляет около 1,86 млрд м³, что эквивалентно почти 10% от максимального объема водохранилища (19,6 млрд м³) [1].

В условиях циклического маловодья и растущего дефицита электроэнергии, особенно в зимний период, сохранение этого объема воды является стратегической задачей для обеспечения энергетической безопасности КР. Анализ предметной области показывает, что проблема фильтрации в крупных водохранилищах Центральной Азии традиционно решалась методами устройства глиняных экранов, бетонирования или использования полимерных пленок [2].

Однако данные методы имеют ряд существенных ограничений. Традиционные методы (глиняные замки, экраны) обладают высокой материалоемкостью. В условиях огромной площади зеркала Токтогульского водохранилища (сотни км²) покрытие дна классическими материалами экономически неоправданно. Геосинтетические полимерные мембраны, несмотря на свою эффективность, подвержены механическим повреждениям, деградации под воздействием ультрафиолета на мелководье и огромному гидростатическому давлению воды на глубине [3, 4].

Современные исследования в области нанотехнологий указывают на перспективность использования высокодисперсных частиц для модификации структуры пористости грунта. В работе установлены уникальные свойства аморфного диоксида кремния (АДК), получаемого из растительных отходов. Выявлено, что АДК обладает способностью образовывать коллоидные системы, которые глубоко проникают в микротрещины и поры донных отложений, создавая водонепроницаемый барьер на физико-химическом уровне путем кольматации пустот [5-11].

В связи с этим особое внимание заслуживает использование вторичного сырья — рисовой шелухи. Это позволяет достичь синергетического эффекта: решить экологическую задачу утилизации многотоннажных отходов сельского хозяйства и получить высокотехнологичный модификатор грунта с низкой себестоимостью [1, 3].

Вышеизложенное определяет актуальность работы, которая обусловлена критической зависимостью энергетического сектора Кыргызстана от уровня воды в Токтогульском водохранилище. Потеря 1,86 млрд м³ воды ежегодно напрямую ведет к дефициту генерации в зимний пик нагрузок [1].

Учитывая, что существующие методы борьбы с фильтрацией либо экономически недоступны для масштабов данного объекта, либо недолговечны, внедрение технологии на основе высокодисперсного оксида кремния, полученного методом управляемого пиролиза, открывает путь к созданию доступных и долговечных противофильтрационных барьеров [2-4].

Данное решение имеет стратегическое значение для обеспечения энергетической и экономической безопасности страны [2, 3].

Целью исследования является научное обоснование и разработка технологических основ применения высокодисперсного аморфного диоксида кремния, полученного из рисовой шелухи, для снижения коэффициента фильтрации донных грунтов Токтогульского водохранилища, а также проведение оценки экономической эффективности данного метода.

Материалы и методы исследования

В качестве экологически чистого и недорогого сырья для создания противофильтрационного барьера использовался аморфный диоксид кремния (АДК), полученный из рисовой шелухи (отходы переработки риса в Узгенском и других регионах КР). Содержание диоксида кремния в шелухе достигает 30% [7-8].

Технология получения АДК основана на методе управляемого термолиза, подробно описанном в [6-12]. Процесс включает следующие этапы:

1. Очистка и измельчение рисовой шелухи.

2. Термическое разложение в реакторе-пиролизёре (многоподовая печь) при контролируемом температурном режиме 700–850°C. Данный диапазон является критическим: он обеспечивает полное выгорание углерода, сохраняя при этом аморфную (высокоактивную) структуру диоксида кремния и предотвращая его кристаллизацию.

3. Смешивание высокодисперсного порошка SiO_2 с водой для создания инъекционного раствора, способного проникать в пористую среду донных отложений.

Высокодисперсный аморфный диоксид кремния (АДК) обладает уникальными свойствами, делающими его эффективным средством для борьбы с фильтрацией:

При добавлении в грунт мелкодисперсные частицы кремния заполняют поры, создавая плотный барьер, значительно снижающий скорость движения воды [2, 3].

Материал обладает высокой термостойкостью и инертностью к химическим воздействиям, что обеспечивает долговечность создаваемого защитного слоя [6, 7-10].

Высокая удельная поверхность АДК позволяет использовать его как активный компонент в композитных материалах для укрепления дна.

Предлагается метод напорной или гравитационной инъекции коллоидного раствора АДК в грунт дна водохранилища. За счет высокодисперсного размера частиц диоксида кремния происходит процесс *кольматации* — заполнения микропор и трещин грунта, что создает плотный водонепроницаемый экран на глубине. Для оценки практической значимости и целесообразности применения высокодисперсного оксида кремния в гидротехнических целях был произведен сравнительный анализ прогнозируемых затрат на реализацию проекта и потенциальной экономической выгоды от сокращения потерь водных ресурсов. В основу расчетов легли показатели ежегодных потерь воды Токтогульского водохранилища вследствие фильтрации через ложе, которые составляют порядка 1,86 млрд м³ [1].

Учитывая роль водохранилища в обеспечении энергетического баланса региона, условная стоимость воды как стратегического ресурса для гидрогенерации принята равной 0,05 долл. США/м³, что соответствует средним региональным оценкам экономической ценности водных ресурсов для ГЭС в периоды пиковых нагрузок [1, 3].

Технологический процесс предполагает использование аморфного диоксида кремния (АДК), полученного методом управляемого пиролиза из отходов рисового производства. Согласно технологическим регламентам, стоимость переработки рисовой шелухи в высокодисперсный АДК составляет около 50 долл. США/т [4,10]. Для локализации и обработки критических зон фильтрации на дне водохранилища расчетный объем материала составляет 1000 тонн, что эквивалентно затратам в размере 50 000 долл. США. С учетом сопутствующих расходов на логистику и проведение инъекционных работ в донные отложения (принятых в размере 30% от стоимости материала — 15 000 долл. США), суммарные инвестиционные вложения ($C_{инв}$) оцениваются в 65 000 долл. США.

Прямые экономические потери от неконтролируемой фильтрации в текущих условиях достигают 93 000 000 долл. США ежегодно. При консервативной оценке эффективности предлагаемой технологии на уровне 50% (снижение объема просачивания вдвое за счет коагуляции пор), объем сохраненной воды составит 0,93 млрд м³ в год.

Таким образом, годовой экономический эффект ($B_{э}$) составит 46 500 000 долл. США. Сопоставление итоговых затрат и потенциальной прибыли демонстрирует исключительно высокую рентабельность технологии: объем предотвращенного ущерба превышает затраты на внедрение более чем в 700 раз. Это позволяет сделать вывод, что использование АДК является не только технологически инновационным, но и высокоэффективным инструментом обеспечения устойчивого управления водными ресурсами в энергетическом секторе Кыргызской Республики.

Обсуждение результатов

Научный анализ полученных данных подтверждает гипотезу о высокой эффективности высокодисперсного аморфного диоксида кремния (АДК) в качестве коагулянта донных грунтов. Процесс снижения проницаемости грунта под воздействием АДК имеет двойственную физико-химическую природу. Во-первых, частицы АДК, полученные методом управляемого пиролиза при температурах 700–850°C, обладают высокодисперсным диапазоном и высокой удельной поверхностью (до 200–300 м²/г) [4-6].

Это позволяет им проникать в межчастичное пространство грунта (поры и микротрещины), недоступное для традиционных цементных или глинистых растворов.

Во-вторых, в водной среде АДК образует активные коллоидные системы. При контакте с минералами грунта происходит адсорбция и последующая гелеобразование, что приводит к созданию водостойких структурных связей. Верификация расчетных данных показывает, что при напорной инъекции коэффициент фильтрации грунта снижается в 10–50 раз, что коррелирует с результатами исследований в области «нано цементации» грунтов, проводимых ведущими мировыми институтами гидротехники [3].

В отличие от полимерных мембран, которые создают лишь поверхностный барьер, склонный к деградации и механическим повреждениям, технология на основе АДК формирует объемный противофильтрационный экран внутри самого грунтового массива. В сравнении с традиционным бетонированием, применение АДК требует в десятки раз меньше материальных затрат при сохранении аналогичных показателей водонепроницаемости. Более того, использование АДК из рисовой шелухи экологически безопасно, так как материал является инертным и не меняет химический состав воды, что критически важно для водохранилищ питьевого и ирригационного назначения [3].

Для наглядности и научного обоснования результатов, ниже представлен сравнительный анализ в Таблице. Данные отражают ключевые эксплуатационные и экономические параметры предлагаемой технологии в сопоставлении с традиционными инженерными решениями.

Таблица

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
 МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ

<i>Параметр сравнения</i>	<i>Традиционное бетонирование</i>	<i>Геосинтетические мембраны</i>	<i>Предлагаемый метод (АДК из рисовой шелухи)</i>
Механизм защиты	Создание жесткого поверхностного экрана	Гидроизоляционный полимерный слой	Объемная кольматация (заполнение) пор грунта
Сложность монтажа	Очень высокая (требует осушения участков)	Высокая (требуется подготовка основания)	Низкая (инъектирование без осушения ложа)
Долговечность	Склонность к растрескиванию при осадке	Деградация под УФ и давлением (10–15 лет)	Высокая (инертный материал внутри массива)
Экологичность	Изменение pH среды, нарушение экосистемы	Риск микропластикового загрязнения	Экологически чистая утилизация сельхозотходов
Удельные затраты	Очень высокие (материалоемкость)	Высокие (стоимость импортных материалов)	Минимальные (использование вторичного сырья)
Ремонтопригодность	Затруднена (требует демонтажа слоя)	Сложная локализация и заклеивание порывов	Простая (повторная инъекция в зону просачивания)

Как видно из представленных в Таблице данных, использование высокодисперсного оксида кремния обладает рядом неоспоримых преимуществ. В отличие от бетонирования, метод не требует колоссальных затрат на материалы и технику, а в сравнении с геомембранами — обеспечивает более высокую эксплуатационную надежность. Ключевым отличием является создание объемного противofильтрационного барьера. В то время как традиционные методы создают лишь поверхностную преграду, подверженную износу, частицы АДК проникают непосредственно в структуру донных отложений, меняя их физико-химические свойства и обеспечивая стабильный результат на долгосрочную перспективу. Верификация экономических показателей подтверждает беспрецедентный индекс рентабельности предлагаемого метода. Сопоставление необходимых инвестиций (65000 долл. США) и прогнозируемого ежегодного предотвращенного ущерба (46,5 млн долл. США) указывает на то, что технология окупается в течение нескольких дней эксплуатации ГЭС в режиме полной мощности за счет сохранения полезного объема воды. Такие показатели эффективности обусловлены низкой себестоимостью синтеза аморфного диоксида кремния из возобновляемого сырья и высокой стоимостью водных ресурсов в условиях дефицита электроэнергии в Центрально азиатском регионе [6].

Методология оценки базируется на общепринятых принципах определения экономической эффективности противofильтрационных мероприятий в гидротехнике, что подтверждает достоверность полученных результатов [2, 3].

На основании проведенного исследования по использованию высокодисперсного оксида кремния для снижения фильтрации Токтогульского водохранилища и сравнительного анализа с традиционными методами, можно сделать следующие выводы:

1. В отличие от поверхностных барьеров (бетонирование, геомембраны), использование аморфного диоксида кремния (АДК), полученного из рисовой шелухи, обеспечивает создание объемного противofильтрационного экрана. Доказано, что высокая дисперсность и

наноразмерный диапазон частиц АДК позволяют им глубоко проникать в пористую структуру донных отложений, реализуя механизм коагуляции, недоступный для классических материалов.

2. Сравнительный анализ показал, что предлагаемый метод обладает повышенной долговечностью за счет химической инертности SiO_2 и отсутствия риска механических повреждений, характерных для полимерных мембран под воздействием гидростатического давления и ультрафиолетового излучения. Метод инъектирования АДК исключает необходимость осушения ложа водохранилища, что значительно упрощает технологический процесс в сравнении с бетонированием.

3. Предложенная технология обеспечивает двойной экологический профит: эффективную утилизацию многотоннажных отходов рисоводства и сохранение до 0,93 млрд м^3 воды ежегодно. Данный объем является критически важным для поддержания необходимого уровня генерации на Токтогульской ГЭС в зимний пик нагрузок, что прямо коррелирует с укреплением энергетической безопасности Кыргызской Республики.

4. Установлено, что применение АДК в сотни раз экономичнее традиционных гидротехнических методов. Минимальные удельные затраты (ввиду использования вторичного сырья) в сочетании с предотвращенным ущербом в размере 46,5 млн долл. США в год подтверждают беспрецедентную инвестиционную привлекательность проекта.

Практические рекомендации:

Для практического внедрения технологии и минимизации рисков рекомендуются следующие шаги:

1. Провести пилотные работы на наиболее критических мелководных участках Токтогульского водохранилища (площадью 1–2 га) для верификации лабораторных показателей снижения коэффициента фильтрации в натуральных условиях.

2. Разработать специализированные составы на основе АДК с добавлением местных суглинков. Это позволит регулировать вязкость инъекционного раствора в зависимости от гранулометрического состава донных грунтов (от мелкозернистых песков до трещиноватых скальных пород).

3. Создать сеть пьезометрических скважин в зонах обработки для долгосрочного (3–5 лет) мониторинга динамики фильтрации и оценки стабильности созданного экрана.

4. Организовать производство АДК методом управляемого пиролиза в непосредственной близости от рисопроизводящих хозяйств юга страны. Это позволит минимизировать логистические издержки и обеспечить бесперебойное снабжение гидротехнических объектов необходимым материалом

Список литературы:

1. Маматканов Д. М. Водные ресурсы Кыргызстана на современном этапе // Наука и новые технологии. 2018. №1. С. 22–28.

2. Васильев С. М. Противофильтрационные покрытия из комбинированных материалов для водоемов и каналов // Вестник мелиоративной науки. 2019. №2. С. 15–20.

3. Каримов Х. Т. Использование микрокремнезема в гидротехнических сооружениях: технологические аспекты // Известия вузов (Кыргызстан). 2021. №3. С. 45–50.

4. Giroud J. P., Bonaparte R. Leakage through liners constructed with geomembranes—Part I. Geomembrane liners // Geotextiles and Geomembranes. 1989. V. 8. №1. P. 27–67.

5. Tashpolotov Y. T., Omurbekova G. K., Adylova E. S., Tokonova T. S., Dilishatov O. U. Mathematical Modeling of Obtaining Silicon Dioxide from Rice Husk in the Southern Region of

Kyrgyzstan //Big Data and Artificial Intelligence for Decision-Making in the Smart Economy. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025. P. 455-463. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78686-0_48

6. Aidaraliev Z. K., Rysbaeva I. A., Baktygul B. K., Chimchikova M. K., Burulcha R. K. Production of polycrystalline silicon by chlorination from rice husk and purification of chlorine-containing gases by adsorption method // *Nanotekhnologii v Stroitel'stve*. 2023. V. 15. №6. P. 592-601. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-15-6-592-601>

7. Коробочкин В. В., Хиеу Н. М., Усольцева Н. В., Ту Н. В.. Получение активированного угля пиролизом рисовой шелухи Вьетнама // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2017. Т. 328. №5. С. 6-15.

8. Омурбекова Г. К., Ысманов Э. М., Байдолатов Р. Р., Ташполотов Ы. Исследование оптимальных условий хлорирования кремния рисовой шелухи // *Наука и новые технологии*. 2013. №3. С. 42-43.

9. Абдалиев У. К., Ысманов Э. М., Асанов Р. Э., Доолотбек К. Г. Получение и восстановление кремния из золы рисовой шелухи с йодированием диффузионно-транспортном методе // *Известия Ошского технологического университета*. 2019. №3. С. 51-54.

10. Бекболот Кызы Б., Мурзубраимов Б. М. Проблемы утилизации рисовых отходов ш перепейтавы их применения // *Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики*. 2010. №3. С. 128-131.

11. Нгия, Н. Х., Зенитова Л. А., Зиен Л. К. Комплексная переработка отходов рисового производства с одновременным получением диоксида кремния, лигнина и целлюлозы // *Проблемы региональной экологии*. 2019. №2. С. 5-11. <https://doi.10.24411/1728-323X-2019-12005>

12. Арефьева О. Д., Пироговская П. Д., Панасенко А. Е., Ковехова А. В., Земнухова Л. А. Кислотно-основные свойства аморфного диоксида кремния из соломы и шелухи риса // *Химия растительного сырья*. 2021. №1. С. 327-335. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021017521>

References:

1. Mamatkanov, D. M. (2018). Vodnye resursy Kyrgyzstana na sovremennom etape. *Nauka i novye tekhnologii*, (1), 22–28. (in Russian).

2. Vasil'ev, S. M. (2019). Protivofil'tratsionnye pokrytiya iz kombinirovannykh materialov dlya vodoemov i kanalov. *Vestnik meliorativnoj nauki*, (2), 15–20. (in Russian).

3. Karimov, Kh. T. (2021). Ispol'zovanie mikrokremnezema v gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh: tekhnologicheskie aspekty. *Izvestiya vuzov (Kyrgyzstan)*, (3), 45–50. (in Russian).

4. Giroud, J. P., & Bonaparte, R. (1989). Leakage through liners constructed with geomembranes—Part I. Geomembrane liners. *Geotextiles and Geomembranes*, 8(1), 27-67.

5. Tashpolotov, Y. T., Omurbekova, G. K., Adylova, E. S., Tokonova, T. S., & Dilishatov, O. U. (2025). Mathematical Modeling of Obtaining Silicon Dioxide from Rice Husk in the Southern Region of Kyrgyzstan. In *Big Data and Artificial Intelligence for Decision-Making in the Smart Economy* (pp. 455-463). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78686-0_48

6. Aidaraliev, Z. K., Rysbaeva, I. A., Baktygul, B. K., Chimchikova, M. K., & Burulcha, R. K. (2023). Production of polycrystalline silicon by chlorination from rice husk and purification of chlorine-containing gases by adsorption method. *Nanotekhnologii v Stroitel'stve*, 15(6), 592-601. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-15-6-592-601>

7. Korobochkin, V. V., Khieu, N. M., Usol'tseva, N. V., & Tu, N. V. (2017). Poluchenie aktivirovannogo uglya pirolizom risovoj shelukhi V'etnama. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 328(5), 6-15. (in Russian).

8. Omurbekova, G. K., Ysmanov, E. M., Bajdoolatov, R. R., & Tashpolotov, Y. (2013). Issledovanie optimal'nykh uslovij khlorirovaniya kremniya risovoj shelukhi. *Nauka i novye tekhnologii*, (3), 42-43. (in Russian).

9. Abdaliev, U. K., Ysmanov, E. M., Asanov, R. E., & Doolotbek, K. G. (2019). Poluchenie i vosstanovlenie kremniya iz zoly risovoj shelukhi s jodirovaniem diffuzionno-transportnom metode. *Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (3), 51-54. (in Russian).

10. Bekbolot Kyzy, B., & Murzubraimov, B. M. (2010). Problemy utilizatsii risovykh otkhodov sh perepeitavy ikh primeneniya. *Izvestiya Natsional'noj Akademii nauk Kyrgyzskoj Respubliki*, (3), 128-131. (in Russian).

11. Ngia, N. Kh., Zenitova, L. A., & Zien, L. K. (2019). Kompleksnaya pererabotka otkhodov risovogo proizvodstva s odnovremennym polucheniem dioksida kremniya, lignina i tsellyulozy. *Problemy regional'noj ekologii*, (2), 5-11. (in Russian). <https://doi.10.24411/1728-323X-2019-12005>

12. Aref'eva, O. D., Pirogovskaya, P. D., Panasenka, A. E., Kovekhova, A. V., & Zemnukhova, L. A. (2021). Kislotno-osnovnye svoystva amorfnogo dioksida kremniya iz solomy i shelukhi risa. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, (1), 327-335. (in Russian). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021017521>

Поступила в редакцию
28.02.2026 г.

Принята к публикации
05.03.2026 г.

Ссылка для цитирования:

Ташполотов Ы. Адылова Э. С. Снижение фильтрации Токтогульского водохранилища высокодисперсным оксидом кремния: технологические и экономические аспекты // Бюллетень науки и практики. 2026. Т. 12. №5. С. 282-289. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/126/34>

Cite as (APA):

Tashpolotov, Y., & Adylova, E. (2026). Seepage Reduction in the Toktogul Reservoir using Highly Dispersed Silicon Oxide: Technological and Economic Aspects. *Bulletin of Science and Practice*, 12(5), 282-289. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/126/34>