ЗАКРЕПЛЕНИЕ ПОДВИЖНЫХ ПЕСКОВ ПУТЕМ ХИМИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ БЕНТОНИТОВЫХ МИНЕРАЛОВ И ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИМЕРОВ.

Исмайлов Бахтияр Муратбаевич

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха, г.Нукус

E-mail: bahtiyar.ismailov@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены способы закрепления подвижных песков Муйнакского месторождения с использованием полимерно-минеральных композиций на основе бентонитовой глины и водорастворимых полимеров. Актуальность исследования объясняется предотвращением подъема частиц пыли и песка в атмосферу и созданием благоприятных условий для роста растений. Представлены экспериментальные данные по изучению кинетики проникновения закрепляющих суспензий и изменению пластической прочности песчаных грунтов при различных концентрациях бентонита и полиакриламида. Выявлены механизмы адсорбционного взаимодействия между компонентами смеси и частицами песка, определяющие процессы структурообразования и укрепления порового пространства. Установлено, что применение бентонит-полимерных композиций способствует формированию прочной поверхностной корки, снижению глубины проникновения конуса, а также долговременному закреплению верхних слоёв песчаной системы. Полученные результаты подтверждают перспективность использования данных композиций для экологически безопасной мелиорации подвижных песков и предотвращения их дальнейшей миграции.

Ключевые слова: бентонитовая глина; водорастворимые полимеры; полиакриламид; карбоксиметилцеллюлоза; закрепление подвижных песков; структурообразование; пластическая прочность; мелиорация; песчаные грунты; полимерно-минеральные композиции.

Annotatsiya. Maqolada Mo‘ynoq konining ko‘chma qumlarini bentonit gili va suvda eriydigan polimerlar asosidagi polimer-mineral kompozitsiyalardan foydalangan holda mustahkamlash usullari ko‘rib chiqilgan. Tadqiqotning dolzarbligi chang va qum zarrachalarining atmosferaga ko‘tarilishining oldini olish va o‘simliklarning o‘sishi uchun qulay sharoit yaratish bilan izohlanadi.

Bentonit va poliakrilamidning turli konsentratsiyalarida mustahkamlovchi suspenziyalarning kirib borish kinetikasini va qumli gruntlarning plastik mustahkamligining o‘zgarishini o‘rganish bo‘yicha eksperimental ma’lumotlar keltirilgan. Aralashma komponentlari va qum zarralari o‘rtasidagi adsorbsion o‘zaro ta’sir mexanizmlari aniqlandi, bu struktura hosil bo‘lish va g‘ovak bo‘shlig‘ini mustahkamlash jarayonlarini belgilaydi. Bentonit-polimer

ISSN 3030-3907

kompozitsiyalarini qo‘llash mustahkam sirt qobig‘ini shakllantirishga, konusning kirib borish chuqurligini kamaytirishga, shuningdek, qum tizimining yuqori qatlamlarini uzoq muddatga mustahkamlashga yordam berishi aniqlandi. Olingan natijalar ko‘chma qumlarni ekologik xavfsiz melioratsiyalash va ularning keyingi migratsiyasini oldini olish uchun ushbu kompozitsiyalardan foydalanishning istiqbolli ekanligini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: bentonitli gil; suvda eruvchan polimerlar; poliakrilamid; karboksimetilsellyuloza; ko‘chma qumlarni mustahkamlash; struktura hosil qilish; plastik mustahkamlik; melioratsiya; qumli gruntlar; polimer-mineral kompozitsiyalar.

Abstract. The article examines methods for stabilizing the mobile sands of the Moynak deposit using polymer-mineral compositions based on bentonite clay and water-soluble polymers. The relevance of the research is explained by the prevention of dust and sand particles from rising into the atmosphere and the creation of favorable conditions for plant growth. Experimental data on the study of the penetration kinetics of fixing suspensions and the change in the plastic strength of sandy soils at different concentrations of bentonite and polyacrylamide are presented. The mechanisms of adsorption interaction between the components of the mixture and sand particles, which determine the processes of structure formation and strengthening of the porous space, have been revealed. It has been established that the use of bentonite-polymer compositions contributes to the formation of a strong surface crust, a decrease in the penetration depth of the cone, and a long-term fixation of the upper layers of the sand system. The obtained results confirm the prospects of using these compositions for environmentally safe reclamation of shifting sands and preventing their further migration.

Keywords: bentonite clay; water-soluble polymers; polyacrylamide; carboxymethylcellulose; stabilization of mobile sands; structure formation; plastic strength; land reclamation; sandy soils; polymer-mineral compositions.

Введение

Одной из наиболее значимых экологических задач современности является предотвращение деградации земель и снижение темпов опустынивания, сопровождающегося миграцией подвижных песков, дефляцией и ухудшением состояния природных экосистем. Подвижные песчаные массивы представляют серьёзную угрозу для инфраструктуры, сельскохозяйственных угодий и качества атмосферы вследствие интенсивного пылеобразования и разрушения поверхностного слоя почв. В связи с этим особую актуальность приобретают технологии, направленные на стабилизацию песчаных грунтов и повышение их устойчивости к ветровой эрозии. [1-2]

ISSN 3030-3907

Особый интерес представляет применение полимерно-минеральных композиций на основе бентонитовой глины и водорастворимых полимеров для закрепления подвижных песков. Такой подход сочетает доступность сырьевых материалов, экологическую безопасность и высокую эффективность при создании поверхностных структур, способных противостоять дефляционным процессам. Бентонит, обладающий развитой поверхностью и высокой сорбционной способностью, в сочетании с полимерными компонентами образует устойчивые коагуляционно-адсорбционные структуры, обеспечивающие долговременное укрепление песчаной среды. [3-6]

Дополнительным преимуществом данных композиций является возможность их интеграции с противоэрозионными и фитомелиорационными мероприятиями, направленными на восстановление нарушенных земель. Применение укрепляющих суспензий способствует уменьшению пылевыноса, улучшению условий для закрепления растительности и формированию более стабильных ландшафтов аридных территорий. [7-12]

Представленная работа посвящена изучению структурообразующих свойств бентонит-полимерных смесей, анализу их проникновения в поровое пространство песков и оценке изменений пластической прочности грунта при различных концентрациях компонентов. Полученные результаты позволяют обосновать эффективность разработанных композиций и определить их потенциал для практического использования в мелиорации подвижных песков.

I. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве основного полимерного компонента в исследовании использовался широко известный синтетический флокулянт — полиакриламид (ПАА), характеризующийся низкой токсичностью, доступностью и высокой эффективностью в процессах флокуляции и структурирования дисперсных систем. Применённый гидролизованный ПАА имел молекулярную массу M_o = 2000 кДа и степень гидролиза не менее 60 %. Дополнительно в качестве модифицирующего компонента использовалась карбоксиметилцеллюлоза марки КМЦ-700. Минеральная составляющая укрепляющих композиций была представлена бентонитовой глиной, обладающей высокой сорбционной активностью и значительной ёмкостью к ионному обмену.

Для определения оптимального состава укрепляющей смеси были приготовлены композиции, содержащие 1–5 % бентонита и 0,1–2 % водорастворимых полимеров. Смеси варьировались по соотношению

ISSN 3030-3907

компонентов с целью выявления влияния концентрации бентонита и ПАА на процессы структурообразования в песчаной среде. Экспериментальная часть исследования включала анализ кинетики проникновения укрепляющих суспензий и определение пластической прочности моделируемых песчаных образцов. В качестве исходного материала использовался песок Муйнакского месторождения, предварительно высушенный и разделённый на фракции. Кинетика проникновения жидкости и динамика изменения прочностных характеристик определялись по величине пластической прочности методом погружения конуса с использованием консистометра Гепплера. Этот прибор обеспечивает регистрацию изменений пластического сопротивления материала во времени и позволяет проводить исследования при различных температурных условиях, что является важным фактором для анализа структурообразующих процессов.

Применённые экспериментальные методы обеспечили возможность комплексной оценки адсорбционных взаимодействий между полимером, бентонитом и песчаными частицами, а также позволили установить влияние концентрационных факторов на эффективность структурообразования в укрепляемой песчаной среде.

II. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТА

Представленные в статье результаты демонстрируют, что разработка и применение закрепляющих композиций на основе бентонитовых глин и водорастворимых полимеров (ВП) обладают значительным потенциалом для решения ряда экологических проблем.

Для изучения изменений в прочности поверхности песков были проведены следующие эксперименты: в начале использовался металлический стакан с диаметром 50 мм и высотой 15 мм, в котором был помещен высушенный песок. Перед проведением исследований песок был разделен на фракции, и для исследований была выбрана фракция размером 0,3-0,5 мм.

Песок в стакане был плотно уплотнен, а затем пропитан жидкостями, содержащими рассматриваемые закрепители, в объеме от 100 до 200 мл на 1 кг песка. Закрепляющая способность и кинетика проникновения были исследованы путем анализа изменений пластической прочности с использованием консистометра Гепплера. Данный консистометр позволяет изучать процессы при различных температурах, что является важным фактором в данном исследовании.

Анализ кинетики закрепительных процессов с применением различных образцов песков и изменений их пластической прочности показал зависимость условий проникновения закрепителя с образованием в

ISSN 3030-3907

пространстве свободного потока под влиянием гравитационных или капиллярных сил от типа связывающего агента и от состава самого песка. Проведенный анализ влияния состава закрепляющей смеси позволил определить наиболее подходящие варианты для наших исследований. В табл. 1 приведены составы данных вариантов.

Таблица-1.

Процентное содержание компонентов в закрепляющей смеси, %

Компоненты	Образец смеси, №					
	1	2	3	4	5	6
Бентонит	3,0	3,0	3,0	5,0	5,0	5,0
ПАА	1,0	0,5	0,3	1,0	0,5	0,3

На рис. 1 приведены данные характеризующие изменения объёмов проникновения суспензии бентонита с ПАА в систему песка Муйнакского месторождений. Объем суспензии на поверхности песка площадью 15 см² (с общей массой 50 г) составил 6 мл.

Пластическая прочность отражает сопротивление начальной структуры, формирующейся при превращении неструктурированного песка в его структурированные формы. Под воздействием закрепляющей добавки наблюдаются два характерных участка на кривых изменения пластической прочности песков во времени: период формирования структуры и период упрочнения. Как указывают диаграммы, продолжительность этих периодов зависит от вида используемых жидкостей.

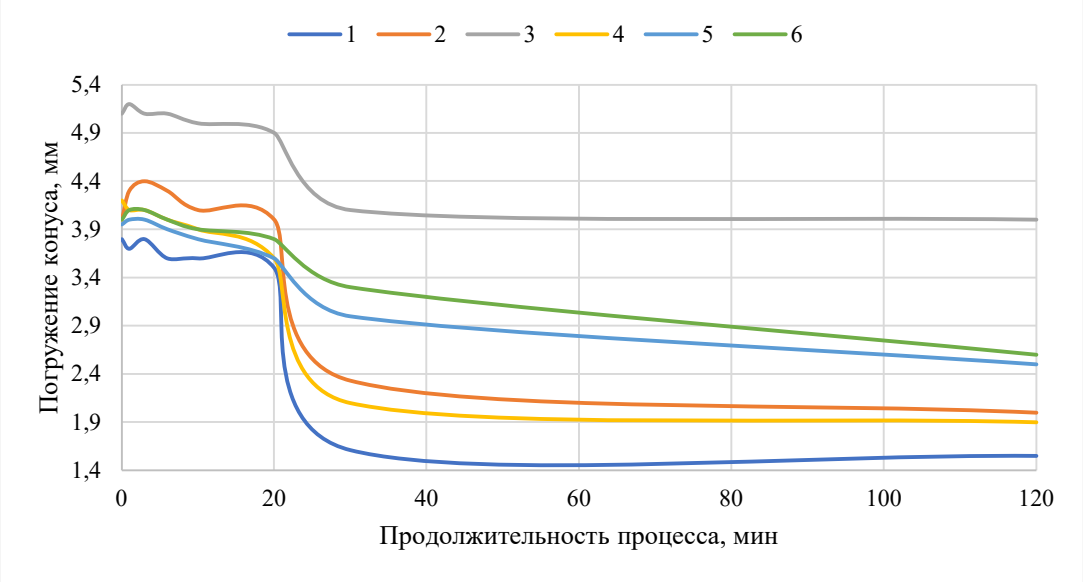


Рис. 1. Динамика погружения конуса с течением времени для образцов песка: Муйнакского месторождения.

Влияние проникновения суспензии бентонита определяется несколькими основными параметрами, включая размеры каналов и взаимодействие поверхности песчаных частиц с жидкостью. Анализ данных,

ISSN 3030-3907

представленных на рис. 1, показывает, что после процесса пропитки наблюдается увеличение глубины погружения конуса в течение следующего 20-30 мин. Как видно из результатов, высота проникновения оказывается меньше при наличии полимера в составе смеси в объеме 1%. При снижении содержания ПАА (от 1% до 0,3%, при сохранении 3% бентонита), наблюдается повышение начальной глубины погружения конуса от 3,85 до 5,2 мм, что свидетельствует о снижении пластической прочности песчаной системы при уменьшении %-ного содержания полимера.

Если, в начальный момент пропитки 1-го состава конус погружается на 3,95 мм, то в течение первых 20 минут наблюдается увеличение высоты погружения до 4,1 мм. Однако, после 20-22 минут происходит резкое снижение высоты погружения. Дальнейшее уменьшение глубины проникновения объясняется усилением прочности системы песка за счет структурообразования и частичного перехода образовавшихся коагуляционных структур в кристаллические формы.

Результаты исследования состава пропитанных песков указывают на то, что основное количество бентонитовой суспензии задерживается в верхнем слое в самом начале процесса пропитки. Эта задержка увеличивается с увеличением вязкости суспензии, то есть с повышением концентрации полимера. Уменьшение количества суспензии по мере продвижения вглубь, вероятно, объясняется образованием пленки на границе контакта жидкости с поверхностью песчинок. Под давлением остальной жидкости эта пленка разрывается. Однако, при взаимодействии с последующими слоями пропитываемой жидкости наблюдается образование новой пленки.

Исследование изменений пластической прочности пропитанных песков показало, что процесс образования и разрыва пленки наблюдается в течение первого часа. Разрываемые пленки задерживаются между частицами песка, заполняя и закупоривая промежутки постепенно.

Уплотнение песка должно наблюдаться при пропитке любой жидкости, включая воду. В случае использования воды можно сделать вывод о смыве мельчайших частиц, что приводит к увеличению пористости. Однако, как показали результаты пропитки водой объемом 6 мл, высота погружения конуса в начальный момент составляет 6,11 мм, что значительно превышает значения, полученные с изучаемыми составами. Это указывает на повышение прочности пропитанных песков, которое обусловлено не только механическим уплотнением, но в основном взаимодействием поверхности частиц песка с компонентами закрепляющей добавки. Как уже отмечалось, взаимодействие компонентов жидкости с поверхностью каналов приводит к изменению потока жидкости по каналам системы и их засорению, что

ISSN 3030-3907

препятствует дальнейшему перемещению жидкого потока.

Возможно, увеличение глубины проникновения конуса в начальный момент пропитки можно связать с расширением начальной пропитки связано с механическими факторами, таких как разрыхление песков за счет фильтрации жидкости и удаления мельчайших частиц. Однако, данная ситуация не наблюдается для системы с 6-составом. Если в начальный момент можно заметить незначительное повышение прочности, то после 20-25 минут наблюдается резкое снижение высоты погружения (от 3,8 до 2,5 мм). Вероятно, в данном случае происходит закупоривание пор большим количеством бентонита в составе суспензии.

Повышение концентрации бентонита не однозначно влияет на изменение погружения конуса, на что также влияет состав самого песка. На основе данных, связанных с изменением пластической прочности корки песка Муйнакского месторождения после 2 часов, возможно установить последовательность структурообразующих составов в следующем порядке: 1>4>2>5>6>3.

Однако, после суточной выдержки, пластическая прочность всех образцов песка существенно снижается. Снижение глубины пропитки с течением времени можно объяснить увеличением прочности данных систем за счет структурообразования и частичного преобразования образовавшихся коагуляционных структур в кристаллические формы.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЯ

На основании проведённых исследований установлено, что применение укрепляющих композиций на основе бентонитовых глин и водорастворимых полимеров является перспективным методом стабилизации подвижных песков. Экспериментальные данные показали, что ввод полимерно-минеральных суспензий обеспечивает формирование устойчивой структуры песчаного материала, что подтверждается ростом пластической прочности и снижением глубины погружения конуса после завершения периода первоначального пропитывания.

Анализ кинетики проникновения укрепляющих растворов позволил выявить зависимость эффективности закрепления от концентрации бентонита и полимера, а также от морфологических особенностей песка. Показано, что увеличение содержания полимера способствует росту вязкости суспензии и усилению структурообразующих процессов, тогда как снижение его концентрации приводит к уменьшению пластической прочности песчаной системы. Существенную роль играет механизм адсорбционного взаимодействия между компонентами смеси и поверхностью песчинок,

ISSN 3030-3907

обеспечивающий формирование коагуляционно-кристаллических структур, стабилизирующих поровое пространство.

Установлено, что большая часть бентонитовой суспензии аккумулируется в верхнем слое песка, где происходит последовательное образование и разрыв плёнок, частично закупоривающих поры и способствующих увеличению прочности структуры в течение первого часа. Дальнейшее снижение глубины проникновения конуса свидетельствует о процессах уплотнения и закрепления, что подтверждает эффективность предложенных композиций по сравнению с контролем (пропитка водой).

Полученные результаты позволяют классифицировать исследуемые смеси по степени структурообразующей эффективности, а также подтверждают влияние концентрации бентонита и полимера на формирование прочностных характеристик стабилизированного песка. Наблюдаемое снижение пластической прочности после суточной выдержки указывает на начальные стадии трансформации структуры, что требует дальнейших исследований, направленных на оценку долговременной стабильности сформированных покрытий.

В целом, использование бентонит-полимерных укрепляющих композиций представляет собой рациональный, экологически безопасный и технологически доступный подход к мелиорации подвижных песков и снижению их дефляционной активности. Данный метод может быть рекомендован для практического применения в условиях аридных территорий с целью предотвращения деградации земель, уменьшения пылеобразования и повышения устойчивости природных ландшафтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмадов, Т. А., & Петров, И. В. (2020). *Применение полиакриламидов для структурирования дисперсных систем.* Журнал химической технологии, 45(3), 123–131.

2. Иванов, С. В., & Кузнецова, Л. П. (2018). *Эрозионные процессы и методы стабилизации почв.* Геоэкология, 12(2), 56–65.

3. Smith, J., & Brown, L. (2019). *Bentonite-polymer composites for soil stabilization.* Journal of Environmental Engineering, 145(7), 04019045.

4. Zhang, H., et al. (2021). *Polyacrylamide applications in desertification control.* Environmental Science & Technology, 55(12), 8123–8132.

5. И.В. Федусенко, О.С. Федорец Влияние молекулярной массы и степени гидролиза полиакриламида на водно-бентонитные суспензии //Международный научный журнал "Инновационная наука" № 04-4/2017. 32-34.

ISSN 3030-3907

6. Кулдашева Ш.А. Коллоидно-химические закономерности закрепления движущихся песков многофункциональными структурантами // 02.00.11 - Коллоидные и мембранная химия диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук. Ташкент - 2018. 257 с.
7. Грязев М.В., Полищук А.В. Мелиорация засушливых территорий и стабилизация песчаных массивов. — М.: Геоэкология, 2018. — 256 с.
8. Ismailov B.M., Turemuratov Sh.N., Consolidation of mobile sands with ameliorants and phytomelioration // Karakalpak Scientific Journal, Vol. 4, Issue 1, Article 7, November 2021. **ISSN-2010-9075. E-ISSN-2181-1229.** https://uzjournals.edu.uz/karsu/vol4/iss1/7
9. Крамаренко В.В., Лисицын А.Г. Влияние полимерных реагентов на структурные свойства дисперсных систем // Почвоведение. — 2019. — № 4. — С. 512–520.
10. Zhao, H., Liu, X., Wang, T. Sand stabilization using polymer–clay composites: mechanisms and environmental effects // Journal of Arid Land. — 2020. — Vol. 12(3). — pp. 350–362.
11. Smith, J., Patel, R. Bentonite–polymer suspensions for soil conditioning: physicochemical interactions // Applied Clay Science. — 2021. — Vol. 204. — Article 106025.
12. Abdurahimov D.Kh., Ismailov B.M., Tanatarov O.R., Abdikamalova A.B., Kuldasheva Sh.A., Agzamova F.N. The Main Areas of Application of Water-Soluble Polymers of Acrylamide to Solve the Problem of Environmental protection and Structure Formation in the Soil // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and technology.Vol. 9, Issue 11, November 2022. Стр 20154-20157.