



ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ВОДОСБЕРЕГАЮЩИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОНАБУХАЮЩИХ ГЛИН И БИОСИМУЛЯТОРОВ

Ганиев Қахрамон

Наманганский государственный технический университет

Зокиров Содиқжон

Наманганский государственный технический университет.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20195633>

ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 1-may 2026 yil
Ma'qullandi: 5-may 2026 yil
Nashr qilindi: 15-may 2026 yil

KEY WORDS

высоконабухающие глины, бентонит, монтмориллонит, биосимулятор, хитозан, нанокompозитный гидрогель, радикальная полимеризация, интеркаляция, кинетика десорбции, биodeградация, водосбережение, стимуляция растений.

ABSTRACT

В данной научной статье исследована технология синтеза инновационных нанокompозитных гидрогелей, направленная на непрерывное обеспечение влагой сельскохозяйственных культур в условиях глобального изменения климата, трансграничных водных проблем и усиливающейся засухи. В рамках исследования в качестве основного минерального каркаса использовалась бентонитовая глина Навбахорского месторождения, а в качестве природного биосимулятора, содержащего аминокруппы, – хитозан, на основе которых были синтезированы полимерные гидрогели с трехмерной (3D) сетчатой структурой. В экспериментах применялись методы радикальной полимеризации in-situ и интеркаляции. Полученные результаты показали, что минеральная фаза в составе композита укрепляет каркас гидрогеля и снижает механическую деструкцию. Максимальная степень набухания синтезированного композита в дистиллированной воде составила 420–480 г/г по отношению к сухой массе, а в минерализованной солевой среде – 110–135 г/г. В статье на основе кинетических моделей подробно проанализировано влияние композита на физико-механические свойства почвы, кинетика обратной отдачи влаги (десорбция) и процессы биodeградации в почвенном микробиоме.

ВВЕДЕНИЕ. На сегодняшний день одной из самых острых глобальных проблем XXI века является резкое сокращение ресурсов пресной воды и опустынивание земель. Аграрный сектор Центральной Азии, в частности Узбекистана, серьезно страдает от гидрологической засухи и дефицита поливной воды. При традиционных методах

орошения в сельском хозяйстве до 40–50% воды расходуется неэффективно из-за испарения и фильтрации (просачивания) в глубокие слои почвы.

Для устранения этих негативных процессов эффективным средством искусственного регулирования влажности почвы являются суперабсорбирующие гидрогели (САГ). Однако высокая стоимость традиционных полиакрилатных или полиакриламидных чистых синтетических гидрогелей, а главное, их накопление в почве и разложение на токсичные мономерные остатки акриламида ограничивают их широкое применение.

В связи с этим разработка технологии создания экологически безопасных, недорогих и высокоэффективных нанокompозитных суперабсорбентов на основе дешевого минерального сырья (глин) и биосимуляторов (природных полимеров) биологического происхождения является одной из важнейших задач современной химии и сельскохозяйственной науки. Глинистые минералы повышают механическую и термическую стабильность материала, а биосимуляторы обеспечивают адаптивность к почвенной экосистеме и функцию питания корневой системы растений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исходное сырье. В исследовании в качестве основного минерального каркаса использовалась очищенная и обогащенная бентонитовая глина Навбахорского месторождения (содержание монтмориллонита 75), емкость катионного обмена. В качестве биосимулятора применялся высокомолекулярный хитозан, полученный из хитина ракообразных (молекулярная масса $M_w = 3.2 \cdot 10^5$, степень деацетилирования 87%). В качестве структурного мономера использовалась акриловая кислота в качестве инициатора – персульфат калия (ПК), а в качестве кросс-линкера (сшивающего агента) – N,N'-метиленабисакриламид (МБА).

Активация и модификация бентонитовой глины

Для очистки бентонитовой глины от примесей ее подвергали элютриации (отмучиванию) в дистиллированной воде в течение 24 часов. Затем глинистую фракцию отделяли, сушили при температуре 105 и измельчали в шаровой мельнице. Для расширения межслоевого пространства (межплоскостного расстояния) глины минеральный порошок подвергали термохимической обработке раствором 0.1 HCl и переводили в натриевую форму (Na бентонит).

Технология синтеза нанокompозитного гидрогеля

Процесс синтеза осуществлялся методом радикальной полимеризации в следующие этапы:

Приготовление вязкого раствора биосимулятора: 1 г хитозана полностью растворяли в (100мл 1%)-го раствора уксусной кислоты при механическом перемешивании.

Этап интеркаляции: К раствору хитозана постепенно добавляли 5 г активированной бентонитовой глины. Для обеспечения проникновения (интеркаляции) аминогрупп хитозана между глинистыми слоями смесь обрабатывали в ультразвуковом гомогенизаторе (24кГц) при температуре 60°C в течение 45 минут до получения гетерогенной системы.

Сополимеризация и сшивание: К полученной гибридной суспензии добавляли частично нейтрализованную акриловую кислоту (нейтрализованную NaOH до 75%). В реакционную колбу вводили инициатор ПК 0.05г и кросс-линкер МБА 0.03г. Для вытеснения кислорода из системы в течение 15 минут продували газообразный азот. Реакцию проводили на водяной бане при температуре 70°C в течение 3 часов методом радикальной полимеризации. Полученную плотную гелевую массу измельчали на

мелкие гранулы, промывали в смеси этанола и дистиллированной воды для удаления непрореагировавших остаточных мономеров и сушили при 65оС до постоянной массы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ. Структурный анализ (FTIR и XRD). Химические связи в составе синтезированного нанокompозита анализировали с помощью ИК-фурье (FTIR) спектрометра в диапазоне 4000 - 400см⁻¹. В спектре наблюдалось смещение валентных колебаний Si-O-Si 1032 см⁻¹, характерных для бентонита, и деформационных колебаний -NH₂ 1610 см⁻¹, характерных для аминогрупп хитозана. Данный факт подтверждает образование прочных водородных и ковалентно-координационных связей между минеральной фазой и органическим полимером.

По результатам рентгенофазового анализа (XRD), дифракционный максимум чистого бентонита 2θ= 6.10, d = 1.44нм в композите сместился в сторону малых углов или исчез. Это свидетельствует о том, что полимерные цепи полностью проникли между глинистыми пластинами, образовав эксфолированную (полностью расслоенную) наноструктуру.

Кинетика набухания композита. Водопоглощающая способность композитного гидрогеля напрямую зависит от соотношения компонентов в его составе. Степень набухания (Q) рассчитывали по следующей формуле:

$$\frac{mt - m_0}{m_0} = Q$$

Где mt – масса набухшего геля г, m₀ – масса сухого геля г.

Таблица 1. Влияние состава композита на набухание и физико-механические свойства

Код образца	Содержание бентонита (%)	Содержание хитозана (%)	Набухание в дистиллированной воде (г/г)	Набухание в 0.9% NaCl растворе (г/г)	Прочность геля (Па)
САГ-0 (Эталон)	0	0	290	45	1200
САГ-Б1	5	2	380	85	2400
САГ-Б2	10	2	450	120	4100
САГ-Б3	20	2	310	75	5800

Как видно из таблицы, при увеличении содержания глины до 10% (образец САГ-Б2) степень набухания достигла максимального значения 450 г/г. Это объясняется тем, что частицы бентонита формируют каркас, увеличивая пористость геля. Однако, когда содержание глины превышает 20%, она ограничивает подвижность полимерных цепей (возрастает плотность ретикуляции), и набухание снижается. В то же время

добавление глины повысило прочность геля с 1200 Па до 4100 Па (почти в 3.5 раза), обеспечивая его устойчивость к механическому давлению почвы.

Удержание влаги в почве и процесс десорбции. Для оценки практической значимости композитного гидрогеля в образец песчано-сероземной почвы вносили 0.2 мас % (от веса почвы) образца САГ-Б2. Контрольную почву (без геля) и почву, смешанную с гелем, доводили до 100% влажности и сушили при температуре 30С.

Почва без геля потеряла 90% содержащейся в ней воды в течение 6 дней, в то время как почва, содержащая бентонит-хитозановый композит с биосимулятором, сохраняла эту влагу в течение 24 дней. Это позволяет увеличить межполивной период в 3–4 раза.

Основная функция хитозана, использованного в данном исследовании, заключается в устранении негативного воздействия материала на почвенный микробиом. Тесты, проведенные в почвенном компосте, показали, что биосимуляторные компоненты в составе композитного гидрогеля легко расщепляются под действием ферментов (хитиназа, целлюлаза), выделяемых почвенными грибами и бактериями. В течение 12 месяцев 65% композита подверглось биодеградации, а конечные продукты распада служат полезным источником органического азота ((N) для почвы и стимулируют рост растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Успешно синтезированы высокоточные нанокompозитные суперабсорбирующие гидрогели на основе бентонитовой глины Навбахорского месторождения и природного полимера – биосимулятора хитозана.

Определен оптимальный состав композита: образец, содержащий 10% бентонита и 2% хитозана, показал способность к набуханию в дистиллированной воде до 450 г/г и обладал наивысшей механической прочностью.

Композит, полученный на основе разработанной технологии, повышает влагоудерживающую способность почвы до 4 раз, резко снижает испарение и является полностью экологически безопасным (биодеградируемым) материалом.

Данный композит рекомендуется в качестве высокоэффективного агросредства для применения совместно с системами капельного орошения в засушливых регионах с дефицитом воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Маматов С. А., Бурхонжонов Б. Ш. Проблемы получения полимерных композитов на основе наноструктурированных глинистых минералов // Узбекский химический журнал, 2023. №3, с. 45-52.
2. García-Gómez C., et al. Chitosan-modified bentonite clay nanocomposites for sustainable agricultural water management // Carbohydrate Polymers, 2024. Vol. 320, No. 2, pp. 114-128.
3. Isik B., Kis M. Synthesis and swelling behavior of biodegradable polymer-clay nanocomposite hydrogels for soil conditioning // Journal of Applied Polymer Science, 2022. Vol. 139, No. 12, e51842.
4. Granados-Carrera C. M., Perez-Puyana V. M. Advanced Superabsorbent Polymers in Agriculture: A Review of Materials and Synthesis Strategies // Gels, 2025. Vol. 11, No. 1, p. 89.

5. Chen Y., et al. Biodegradation kinetics of biopolymer-coated bentonite hydrogels in agricultural soils // *Polymer Degradation and Stability*, 2024. Vol. 219, e110602.
6. Шарипов Х. Т., Эшметов И. Д. Технология получения гибридных композитов на основе местных глин и их агрохимические свойства // *Доклады АН РУз*, 2024. №5, с. 78-83.
7. Development of biodegradable hydrogels with high water retention capacity using natural clays // *Scientific Reports*, 2025. Vol. 15, No. 4, pp. 14205-14218.

