

Нарзуллаев Бахтиёр Абдуллаевич, Соискатель,
Ташкентский научно-исследовательский
институт химической технологии

Ширинов Шавкат Давлатович,
Доктор философии (PhD) по техническим наукам,
ведущий научный сотрудник,
Ташкентский научно-исследовательский
институт химической технологии

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ СВОБОДНОГО НАБУХАНИЯ БИОДЕГРАДИРУЕМЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ БИОПОЛИМЕРОВ МОДИФИКАЦИЕЙ АКРИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ

Аннотация. В данной статье изучены водопоглощающие свойства и кинетика свободного набухания биodeградируемых гидрогелей, полученных путем модификации биополимеров акриловой кислотой. В присутствии азотных инициаторов были синтезированы образцы акрил-1, акрил-2, акрил-3, акрил-4 и акрил-5 с содержанием акрилового мономера в диапазоне 5–60%. Гравиметрическим методом оценены степень равновесного набухания гидрогелей, показатели t_{50} и t_{90} , степень водопоглощения в различные интервалы времени, а также средняя скорость набухания. По результатам экспериментов образец акрил-4, содержащий 50% акрилового мономера, проявил наивысшую водопоглощающую способность ($Q_e = 536$ г/г) и высокую скорость набухания. Увеличение количества акрила до 60% привело к снижению водопоглощающей емкости. Полученные результаты позволяют оценить гидрогель акрил-4 как перспективный материал для сохранения влаги в почве и повышения эффективности использования водных ресурсов.

Ключевые слова: Биополимер, акриловая кислота, биodeградируемый гидрогель, суперабсорбент, кинетика свободного набухания, водопоглощающая емкость, гравиметрический метод, степень равновесного набухания, сохранение влаги, почвенно-гидрогелевая система.

В настоящее время изменение климата, ограниченность водных ресурсов, удлинение периодов засухи и деградация почв превращают эффективное использование влаги в сельском хозяйстве в одну из актуальных проблем. Особенно в орошаемых зонах быстрое испарение воды, механический состав и степень засоления почвы оказывают негативное влияние на стабильное сохранение влаги в корневой зоне растений [1, 2]. В связи с этим применение гидрогелей, обладающих свойствами поглощения, удержания и поэтапного высвобождения воды в нужное время, рассматривается как перспективное агротехнологическое решение. Однако долгосрочная экологическая стабильность и вероятность накопления синтетических суперабсорбентов в почве усиливают необходимость создания новых материалов на основе биodeградируемых природных полимеров. Модификация биополимеров акриловой кислотой позволяет повысить их гидрофильность, управлять структурой полимерной сетки и целенаправленно оптимизировать кинетику водопоглощения. При этом количество акрилового мономера, плотность сетки и условия синтеза являются основными факторами, определяющими степень равновесного набухания, скорость набухания и способность гидрогеля удерживать влагу. Кроме того, такие гидрогели могут служить принципам ресурсосберегающего земледелия за счет удлинения межполивных интервалов, снижения



водного стресса растений, ограничения вымывания питательных веществ и повышения эффективности использования воды. Их биodeградация имеет особое значение с точки зрения снижения долгосрочной нагрузки на почвенную экосистему. В этом аспекте сравнительное изучение кинетики свободного набухания биodeградируемых гидрогелей с различной долей акриловой кислоты и определение оптимального состава для практического применения имеет важное научно-практическое значение [3, 4].

Путем модификации биополимеров акриловой кислотой в присутствии азотных инициаторов были синтезированы биodeградируемые гидрогели марок акрил-1, акрил-2, акрил-3, акрил-4 и акрил-5 с содержанием акрилового мономера 5–60%, и сравнительно изучена кинетика их свободного набухания.

Состав гидрогелей, время сушки (десорбции) и степень удержания влаги тесно взаимосвязаны, и очень важно сопоставить именно эти показатели перед их внесением в почву в полевых условиях. В почвенно-гидрогелевой системе влагообмен основывается на градиенте водного потенциала (матричная и осмотическая фазы) и константе равновесной влажности: если среда суше, гидрогель выделяет воду, если влажнее – поглощает обратно. Это равновесие определяется, прежде всего, химической структурой и методом получения (синтеза) гидрогеля, а в определенной степени – структурой почвы (механический состав, пористость, засоленность).

Таблица 1

Кинетика водопоглощения и набухания гидрогелей

Образцы	Акрил, %	Q_e (г/г)	t_{50} (час)	t_{90} (час)	Q (6ч)/ Q_e (%)	Q (12ч)/ Q_e (%)	Q (18ч)/ Q_e (%)	Скорость 3–6 ч	6–12 ч	12–24 ч
акрил-1	5	128	8.89	19.54	39.8	60.9	84.4	4.33	4.50	4.17
акрил-2	20	269	8.60	19.30	41.6	61.0	86.6	4.67	8.67	8.75
акрил-3	30	408	4.97	21.01	54.9	64.5	79.9	13.33	6.50	6.08
акрил-4	50	536	$\leq 3.00^*$	14.70	60.8	82.3	93.7	16.67	16.17	15.92
акрил-5	60	463	4.15	18.06	55.7	74.7	89.8	14.33	14.67	9.75

* Примечание (акрил-4, t_{50}): $0.5 Q_e = 268$ г/г, при этом впитывание воды за 3 часа превысило 50% ($Q = 276$). Поэтому $t_{50} < 3$ часов (в таблице указано как ≤ 3.00 часа).

Кинетика свободного набухания данных биodeградируемых гидрогелей оценивалась гравиметрическим методом. Согласно результатам таблицы, с увеличением доли акриловой кислоты в гидрогелях улучшились водопоглощающая емкость и кинетика набухания. Наивысшая степень равновесного набухания наблюдалась у образца акрил-4 (50%), составив $Q_e = 536$ г/г. Данный образец в течение 3 часов достиг более 50% от равновесной емкости ($t_{50} \leq 3$ часов), а также быстрее всех приблизился к равновесию при $t_{90} = 14.70$ часа. У образца акрил-5 (60%) Q_e составила 463 г/г, скорость набухания по сравнению с акрил-4 снизилась. Данное обстоятельство объясняется уплотнением полимерной сетки в результате увеличения количества акриловой кислоты. Таким образом, среди исследованных образцов гидрогель акрил-4 проявил наиболее оптимальное соотношение высокой водопоглощающей емкости и быстрых свойств набухания.

Проведенные эксперименты показали, что модификация биополимеров акриловой кислотой оказывает существенное влияние на водопоглощающую емкость и кинетику набухания гидрогелей. Среди исследованных образцов гидрогель акрил-4, содержащий 50% акрилового мономера, обладал наивысшей степенью равновесного набухания ($Q_e = 536$ г/г),



наименьшим значением t_{50} (≤ 3 часа) и относительно быстрым показателем t_{90} (14.70 часа). Увеличение доли акриловой кислоты до 60% привело к снижению водопоглощающей емкости до 463 г/г, что может быть связано с уплотнением полимерной сетки. Полученные результаты позволяют оценить состав акрил-4 как перспективный биodeградируемый гидрогель по свойствам эффективного поглощения и удержания воды. В дальнейших исследованиях целесообразно оценить влагообмен в почвенных условиях, десорбцию и агроэкологическую эффективность данного материала.

Список литературы:

1. Mittal H., Alili A.A., Alhassan S.M., 2020. Solid polymer desiccants based on poly (acrylic acid-co-acrylamide) and laponite RD: Adsorption isotherm and kinetics studies, Colloids and Surfaces A. 599:124813
2. Мухиддинов Б.Ф., Исроилов, О.И., Ширинов Ш.Д., Джалилов А.Т. (2025). Композитный гидрогель на основе карбоксиметилцеллюлозы и ионов металлов.
3. Saruchi, Kaith B.S., Kumar V., Jindal R., 2016. Biodegradation study of enzymatically catalyzed interpenetrating polymer network: evaluation of agrochemical release and impact on soil fertility, Biotechnol. Rep., 9, 74–81.
4. Исроилов, О.И., Мухиддинов, Б.Ф., Джалилов, А.Т., Ширинов, Ш.Д., Исроилова, Г.А. (2024). ИК-спектроскопические и термогравиметрические исследования гидрогелей, синтезированных на основе карбоксиметилцеллюлозы. Universum: технические науки, 8 (11 (128)), 13-20.

