ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME -11

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 11

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДЯНОГО ПАРА С СИЛАНСОДЕРЖАЩИМИ ПОЛИСАХАРИДНЫМИ КОМПОЗИТАМИ

Сотиболдиев Б.С.
Наманган давлат техника университети, к.ф.ф.д,
Тожимирзаева М.Б.
Наманган давлат техника университети, магистранти
E-mail: bekzodsotiboldiev7@gmail.com

Anotastsiya. Mazkur tadqiqotda suvda eruvchan atsetil sellyuloza (SEAS) hamda natriy karboksimetil sellyuloza (NaKMS) asosidagi silan modifikatsiyalangan polisaxarid kompozitlar metiltrimetoksisilan ishtirokida zol–gel usuli orqali sintez qilindi. Olingan materiallarning suv bug‘larini yutish xususiyatlari keng nisbiy bug‘ bosimi oralig‘ida o‘rganildi va ularning strukturaviy holati hamda namlik bilan o‘zaro ta’sir mexanizmlari tahlil qilindi. Tadqiq etilgan kompozit materiallar namlikka sezgir qurilmalar, qadoqlash tizimlari, membrana materiallari va funksional sorbentlar yaratishda istiqbolli material sifatida qaraladi.

Kalit so‘zlar: Zol–gel sintezi, SEAS, NaKMS, metiltrimetoksisilan, suv bug‘lari sorbsiyasi, gibrid kompozitlar, adsorbsiya izotermalari, GAB modeli, Park modeli, gidrofil polimerlar

Abstract. In the present study, silane-modified polysaccharide hybrid composites based on water-soluble acetyl cellulose (WSAC) and sodium carboxymethyl cellulose (NaCMC) were synthesized via the sol–gel method using methyltrimethoxysilane as a precursor. The water vapor sorption behavior of the obtained materials was investigated over a wide range of relative vapor pressures, and their structural characteristics together with the mechanisms of moisture interaction were analyzed in detail. The investigated hybrid composites demonstrate promising potential for application in humidity-sensitive devices, packaging systems, membrane materials, and functional sorbents due to their enhanced moisture-responsive properties.

Keywords. Sol–gel synthesis, WSAC, NaCMC, methyltrimethoxysilane, water vapor sorption, hybrid composites, adsorption isotherms, GAB model, Park model, hydrophilic polymers.

Аннотация. В данной работе методом золь–гель синтеза с использованием метилтриметоксисилана были получены силан-модифицированные полисахаридные композиты на основе водорастворимой ацетилцеллюлозы (ВРАЦ) и натриевой карбоксиметилцеллюлозы (NaКМЦ). Исследованы сорбционные свойства полученных материалов по отношению к водяному пару в широком диапазоне относительных давлений пара, а также

проанализированы их структурное состояние и механизмы взаимодействия с влагой. Показано, что разработанные композитные материалы могут рассматриваться как перспективные системы для создания влагочувствительных устройств, упаковочных материалов, мембранных структур и функциональных сорбентов.

Ключевые слова. Золь–гель синтез, ВРАЦ, NaКМЦ, метилтриметоксисилан, сорбция водяного пара, гибридные композиты, адсорбционные изотермы, модель GAB, модель Парка, гидрофильные полимеры.

ВВЕДЕНИЕ.

В последние годы наблюдается значительный рост научного интереса к гибридным материалам на основе кремния. Это связано с тем, что подобные материалы обладают рядом уникальных структурных и физико-химических свойств. Для таких систем характерны высокая удельная поверхность, регулируемая пористость, низкая плотность и эффективные теплоизоляционные свойства. Наряду с этим кремнийсодержащие материалы отличаются высокой термической стабильностью, химической стойкостью, негорючестью, низкой электропроводностью и хорошими оптическими характеристиками. Совокупность перечисленных свойств позволяет рассматривать их как перспективную основу для разработки современных полимерных композитов с заранее регулируемыми функциональными параметрами [1].

Сорбция водяного пара является одним из ключевых факторов, определяющих эксплуатационные свойства гидрофильных полимеров и композитных материалов на их основе. Процесс сорбции позволяет получить важную информацию о свободном объёме полимерной системы, распределении функциональных групп, концентрации ионных центров, а также особенностях межфазного взаимодействия. Кроме того, взаимодействие с влагой оказывает существенное влияние на механическую прочность, транспортные характеристики, размерную стабильность и долговременную эксплуатационную устойчивость полимерных материалов [2,3].

В ионогенных полимерах, таких как натриевая карбоксиметилцеллюлоза, процесс сорбции воды не подчиняется закону простой линейной адсорбции. Для подобных систем при повышенной влажности характерно проявление сложных нелинейных механизмов сорбции, связанных с образованием кооперативных кластеров молекул воды и релаксационными изменениями полимерных цепей [4,9,10]. Результаты ранее проведённых исследований показывают, что

ISSN 3030-3907

сорбционные изотермы гидрофильных материалов, имеющие сигмоидальный характер, в области низкой и средней влажности достаточно хорошо описываются моделями BET и GAB [2,7,10]. Вместе с тем для более точного описания поведения системы во всём диапазоне влажности целесообразно применять модель Парка, а также сорбционные модели, учитывающие несколько механизмов взаимодействия влаги с полимерной матрицей [5,6,8].

Введение силановых прекурсоров, таких как метилтриметоксисилан, в полисахаридные системы способствует формированию гибридных сетчатых структур органо-неорганической природы. Образование подобных структур обеспечивает повышение механической устойчивости композитных материалов, улучшение их влагостойкости и повышение структурной однородности. Одновременно ионные группы, присутствующие в составе NaКМЦ, создают дополнительные активные центры сорбции, что способствует увеличению способности материала к поглощению воды и образованию кластеров влаги внутри полимерной матрицы [1,7,8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В связи с этим в данной работе были исследованы сорбционные свойства по отношению к водяному пару у гибридных композитов ВРАЦ–NaКМЦ, синтезированных с использованием метилтриметоксисилана. В ходе исследования особое внимание уделялось закономерностям формирования сорбционных изотерм, механизмам взаимодействия материала с влагой, а также структурным изменениям, происходящим при различных уровнях относительной влажности.

Гибридные полисахаридные композиты были получены на основе водорастворимой ацетилцеллюлозы (ВРАЦ) и натриевой карбоксиметилцеллюлозы (NaКМЦ) с использованием компонентов, модифицированных силаном. В качестве основной гидрофильной полимерной матрицы применялась натриевая карбоксиметилцеллюлоза — водорастворимый полисахарид, содержащий карбоксилатные группы ионной природы ($–COO^-Na^+$).

Гибридные композиты на основе ВРАЦ–NaКМЦ синтезировали модифицированным золь–гель методом, обеспечивающим равномерное распределение органических и неорганических компонентов в объёме материала. Полученные образцы в зависимости от соотношения компонентов были обозначены как **B, D, F, H, J и L**. Такая система маркировки позволила провести последовательное сравнение сорбционных характеристик композитов различного состава.

ISSN 3030-3907

Структурные особенности синтезированных композитов исследовали методом инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR). FTIR-анализ проводился с целью подтверждения наличия функциональных групп, характерных как для органических, так и для неорганических компонентов системы.

В зарегистрированных спектрах были выявлены полосы поглощения, соответствующие гидроксильным (–OH), карбоксилатным ($–COO^-$) и силоксановым (Si–O–Si) группам. Появление характерных пиков, относящихся к связям Si–O–Si, свидетельствовало об успешном формировании неорганической силоксановой сетки внутри полимерной матрицы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.

Морфология сорбционных изотерм

Для оценки влагопоглощающей способности полученных композитных материалов были проведены исследования сорбции водяного пара. Измерения выполнялись в широком диапазоне относительных давлений пара (P/Ps), что позволило изучить особенности адсорбционного процесса при различных уровнях влажности.

Изотермы сорбции водяного пара, полученные для гибридных композитов ВРАЦ–NaКМЦ, имели ярко выраженную сигмоидальную (S-образную) форму (рис. 1). Подобный тип изотерм характерен для гидрофильных материалов на основе полисахаридов и отражает многостадийный механизм сорбции, обусловленный сложными физико-химическими взаимодействиями между молекулами воды и функциональными группами полимерной системы.

Начальный участок изотермы при низких значениях относительного давления пара соответствует процессу мономолекулярной адсорбции.

На данном этапе молекулы воды преимущественно взаимодействуют с высокоэнергетическими активными центрами, такими как гидроксильные и карбоксилатные группы.

ISSN 3030-3907

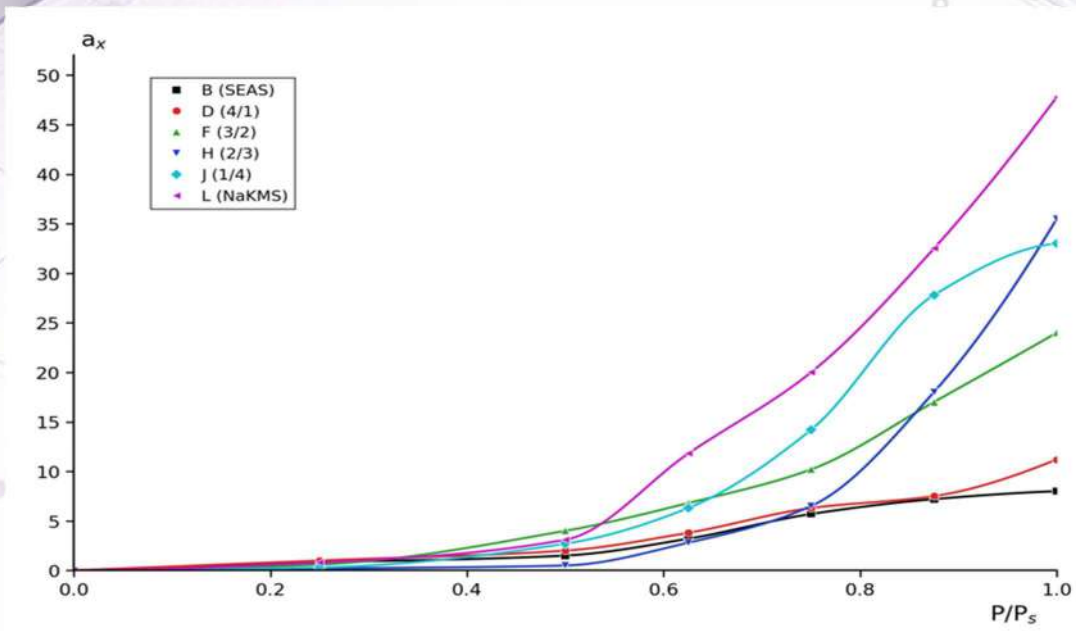


Рис. 1. Изотермы сорбции водяного пара силан-модифицированных полисахаридных композитов.

Особенно интенсивно подобные взаимодействия проявляются в композициях с повышенным содержанием NaКМЦ, где формирование связей осуществляется за счёт водородных и ионных взаимодействий. Первично адсорбированные молекулы воды в дальнейшем выступают в роли центров для присоединения следующих молекул, что приводит к образованию системы водородных связей типа «вода–вода» и постепенному нарастанию адсорбционных слоёв. Именно этот механизм обусловливает характерную криволинейную форму изотермы.

В области высоких значений относительного давления пара существенную роль начинают играть процессы кооперативного образования кластеров влаги. На данной стадии молекулы воды объединяются внутри полимерной матрицы в кластерные структуры, вызывая набухание полимерных цепей и заполнение микропустот влагой. Подобные явления, как правило, сопровождаются структурной перестройкой композитной системы и увеличением свободного объёма материала.

В целом наблюдаемые сигмоидальные изотермы подтверждают гидрофильный характер синтезированных композитов и свидетельствуют о наличии сложных механизмов взаимодействия влаги с полимерными и неорганическими компонентами системы.

Среди композитов, обозначенных как **B, D, F, H, J и L**, были выявлены существенные различия по величине сорбционной ёмкости. Установлено, что данные различия напрямую связаны с соотношением компонентов ВРАЦ и NaКМЦ в структуре гибридных материалов.

ISSN 3030-3907

Образец **B** продемонстрировал наименьшую сорбционную способность во всём исследованном диапазоне влажности. Подобное поведение можно объяснить сравнительно низким содержанием гидрофильных центров и недостаточным количеством ионных групп, способных активно взаимодействовать с молекулами воды.

Наиболее высокая сорбционная активность была зафиксирована для образца **L**. При относительном давлении пара P/Ps = 0,625 значение сорбции достигало примерно 11,8 условных единиц, что значительно превышало показатели образца B. При P/Ps = 1,0 различие становилось ещё более выраженным: влагопоглощающая способность образца **L** оказалась приблизительно в шесть раз выше по сравнению с образцом **B**.

Образцы с промежуточным содержанием NaКМЦ начинали активно поглощать влагу уже на начальных стадиях адсорбционного процесса. Это свидетельствует о постепенном формировании взаимосвязанных гидрофильных доменов и облегчении диффузии влаги по объёму полимерной матрицы.

Образец H продемонстрировал особенно интересное поведение в процессе сорбции. **B** области средней влажности его сорбционная ёмкость оставалась сравнительно умеренной, однако при высоких значениях относительного давления пара наблюдалось резкое увеличение влагопоглощения. Диапазон средней относительной влажности (P/Ps ≈ 0,35–0,70) представляет собой переходную область, в которой начинают преобладать процессы многослойной адсорбции. Именно в этом интервале наиболее отчётливо проявились различия между составами композитов, особенно в системах с повышенным содержанием NaКМЦ.

Для композиций с высоким содержанием NaКМЦ было зафиксировано значительное увеличение наклона сорбционной кривой. Это указывает на то, что первый адсорбированный слой воды выполняет функцию своеобразного «seed layer» — начального центра для присоединения последующих молекул воды. В результате между молекулами воды формируется развитая система водородных связей, что приводит к постепенному росту адсорбционных слоёв и увеличению сорбционной ёмкости материала (рис. 2).

В области высокой относительной влажности (P/Ps ≥ 0,70) для всех исследованных композиций наблюдалось резкое возрастание сорбционной способности, особенно выраженное у образцов **H, J и L**. Столь интенсивный рост сорбции невозможно объяснить исключительно процессами многослойной адсорбции. Вероятно, дополнительный вклад в механизм

ISSN 3030-3907

влагопоглощения вносит частичная капиллярная конденсация, происходящая в гетерогенных микропустотах композитной структуры.

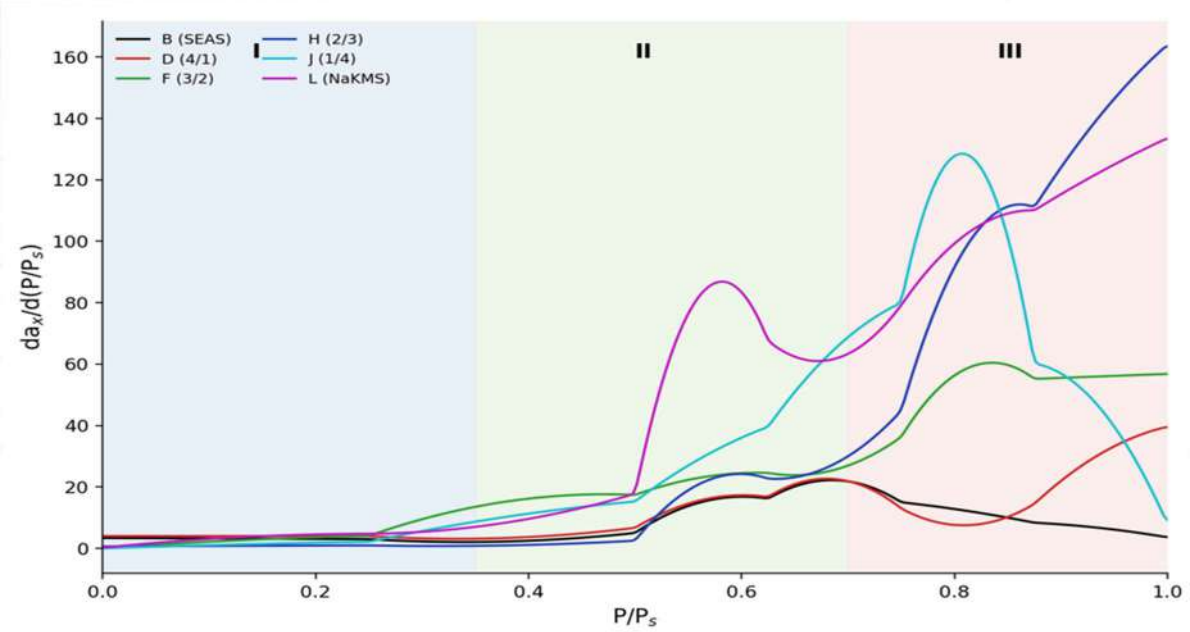


Рис. 2.Анализ наклона сорбционных изотерм, отражающий усиление кооперативного поглощения воды при высоком относительном давлении пара

Подобные микроструктурные пустоты, вероятно, формировались в процессе золь–гель синтеза вследствие образования органо-неорганических гибридных сеток. Совокупное влияние указанных факторов объясняет резкое увеличение сорбционной ёмкости, наблюдаемое в условиях высокой влажности.

При давлении насыщенного пара (P/Ps = 1,0) конечные значения сорбционной ёмкости изменялись в следующей последовательности:

L > H > J > F > D > B

Полученная зависимость наглядно показывает, что увеличение содержания NaКМЦ существенно повышает способность композитов к поглощению влаги.

ISSN 3030-3907

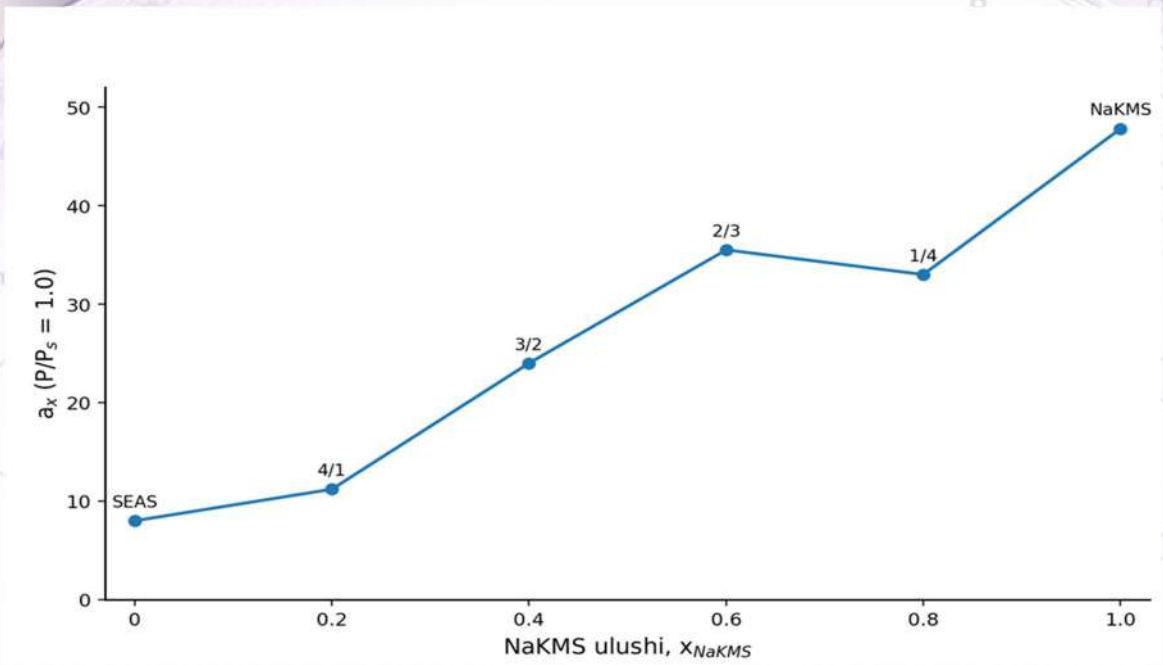


Рис. 3. Зависимость равновесной сорбционной ёмкости от содержания NaКМЦ.

Наибольшее значение сорбционной ёмкости было зафиксировано для образца L и составило приблизительно 47,8 условных единиц. В то же время образец B характеризовался значительно более низкой способностью к поглощению влаги — около 8,0 условных единиц. Важную роль в повышении сорбционной активности играют карбоксилатные группы – COO^-Na^+, присутствие которых существенно увеличивает энергию ион-дипольной гидратации и тем самым облегчает адсорбцию молекул воды (рис. 3).

Следует отметить, что образец **J** в диапазоне средней относительной влажности демонстрировал более высокие показатели сорбции по сравнению с образцом **H**. Однако при условиях, близких к насыщению водяным паром, образец **H** проявил более высокую сорбционную способность. Подобное различие свидетельствует о неодинаковом формировании каналов переноса влаги в структуре композитов, а также о различиях в порогах структурной активации исследуемых систем (рис. 4).

ISSN 3030-3907



Рис. 4. Схематическое представление трёхстадийного механизма сорбции водяного пара в гибридных композитах ВРАЦ–NaКМЦ.

Полученные результаты указывают на то, что сорбционные характеристики композитов определяются не только их химическим составом, но и особенностями пространственной организации гидрофильных областей внутри полимерной матрицы. Повышение содержания NaКМЦ сопровождается увеличением количества карбоксилатных групп $–COO^-Na^+$, что способствует росту энергии ионно-дипольного взаимодействия с молекулами воды. В результате усиливаются процессы гидратации, а также активизируются кооперативные механизмы сорбции влаги.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Результаты проведённого исследования показали, что гибридные полисахаридные композиты, модифицированные силаном и полученные на основе водорастворимой ацетилцеллюлозы (ВРАЦ) и натриевой карбоксиметилцеллюлозы (NaКМЦ), характеризуются типичными сигмоидальными изотермами сорбции водяного пара. Подобное поведение подтверждает наличие многостадийных механизмов сорбции, характерных для гидрофильных полимерных систем.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что увеличение содержания NaКМЦ приводит к существенному росту общей влагопоглощающей способности композитов. В условиях насыщенного давления пара (P/Ps = 1,0) сорбционная ёмкость возрастала приблизительно от 8,0 условных единиц для композиций с высоким содержанием ВРАЦ до около 47,8 условных единиц для систем, обогащённых NaКМЦ.

Композиты промежуточного состава продемонстрировали нелинейный характер сорбции, что указывает на формирование внутри

ISSN 3030-3907

полимерной матрицы гидрофильных каналов, зависящих от состава материала. Для отдельных образцов в условиях высокой влажности наблюдалась замедленная активация непрерывных каналов переноса влаги, что сопровождалось резким увеличением сорбционной ёмкости.

В целом полученные результаты показывают, что сорбционные свойства гибридных композитов ВРАЦ–NaКМЦ могут эффективно регулироваться как химическим составом, так и особенностями структурной организации системы. В связи с этим данные материалы представляют значительный интерес для применения в влагочувствительных устройствах, упаковочных материалах, мембранных технологиях и современных сорбционных системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. He, X., et al. Preparation of the methyltriethoxysilane based aerogel monolith with an ultra-low density and excellent mechanical properties by ambient pressure drying. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2021, 600, 764–774.
2. Sultan, M., El-Sharkawy, I.I., Miyazaki, T., Saha, B.B. Insights of water vapor sorption onto polymer based sorbents. *Adsorption*, 2015, 21(3), 205–215.
3. Sultan, M., Miyazaki, T., Koyama, S., et al. Water vapor sorption kinetics of polymer based sorbents: Theory and experiments. *Applied Thermal Engineering*, 2016, 106, 192–202.
4. Hickner, M.A. Water-mediated transport in ion-containing polymers. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 2012, 50(1), 9–20.
5. Li, Y., et al. Proton exchange membranes from sulfonated polyetheretherketone and sulfonated polyethersulfone-cardo blends: Conductivity, water sorption and permeation properties. *Electrochimica Acta*, 2013, 111, 419–433.
6. Li, X., et al. Water Sorption Behavior in Different Aromatic Ionomer Composites Analyzed with a New Dual-Mode Sorption Model. *Macromolecules*, 2014, 47, 6331–6342.
7. Belbekhouche, S., Bras, J., Siqueira, G., et al. Water sorption behavior and gas barrier properties of cellulose whiskers and microfibrils films. *Carbohydrate Polymers*, 2011, 83(4), 1740–1748.
8. Hakalahti, M., Faustini, M., Boissière, C., Kontturi, E., Tammelin, T. Interfacial Mechanisms of Water Vapor Sorption into Cellulose Nanofibril Films as Revealed by Quantitative Models. *Biomacromolecules*, 2017, 18(9), 2951–2958.
9. Berthold, J., Rinaudo, M., Salmén, L. Water Sorption to Hydroxyl and Carboxylic Acid Groups in Carboxymethylcellulose Studied with NIR-spectroscopy. *Cellulose*, 1998, 5, 281–298.

ISSN 3030-3907

10. Torres, M.D., et al. Water adsorption isotherms of carboxymethyl cellulose, guar, locust bean, tragacanth and xanthan gums. *Carbohydrate Polymers*, 2012, 89(2), 592–598.

ISSN 3030-3907