

УДК 662

**МОДИФИКАЦИЯ СИЛИКАГЕЛЯ ПОЛИ(2-АКРИЛАМИДО-2-
МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОНОВОЙ)**

Белин Б. П., студент гр. ХТ-24, II курс,

Научный руководитель: Симагин А. С. к.х.н., доцентДзержинский политехнический институт Нижегородского государственного
технического университета им. Р.Е. Алексеева,
г. Дзержинск

Загрязнение вод ионами тяжелых металлов и промышленными красителями является одной из острых экологических проблем современной индустрии [1, 2]. Для очистки сточных вод от указанных опасных веществ применяются различные подходы, одним из которых является использование специальных сорбентов. Модифицированные кремнеземы занимают одно из ключевых мест в ряду сорбентов различного назначения. Силикагель, обладающий высокой удельной поверхностью и развитой пористостью, служит идеальным носителем для создания функциональных сорбентов.

В случае модификации поверхности силикагеля или другого сорбента кислотными функциональными группами, такими как сульфоновая ($-\text{SO}_3\text{H}$), заметно повышается эффективность сорбента относительно катионов тяжелых металлов и красителей с основными группами, что подтверждено множеством исследований [3-6].

Модификация поверхности силикагеля и синтез полимерных композиций на его основе являются ключевыми направлениями в создании сорбционных материалов. Классический подход включает активацию поверхности силикагеля минеральными кислотами для увеличения числа силанольных групп, прививку полимеризуемых фрагментов, например, с использованием 3-(триметоксисилил)пропилметакрилата (ТСМ) [1], и дальнейшую прививку полимера к двойным связям на поверхности модифицированного силикагеля. Анализ литературных данных показывает, что стадия прививки якорного мономера ТСМ может быть реализована в различных растворителях: от органических (толуол, ацетон, этанол) до водно-спиртовых и водных систем. При этом использование чистых органических растворителей, таких как толуол или ацетон, сопряжено с высокой токсичностью, пожароопасностью и взрывоопасностью, необходимостью регенерации и утилизации опасных отходов, что увеличивает экономические затраты и экологическую нагрузку. С точки зрения «зеленой химии» и промышленной безопасности более предпочтительным является применение воды. Водные системы позволяют проводить гидролиз и конденсацию в мягких условиях с относительно высоким выходом привитого слоя. Переход на водные реакционные среды при модификации силикагеля и синтезе композитных сорбентов позволяет снизить энергозатра-

ты, исключить риски, связанные с летучими органическими соединениями, и сделать процесс более экономичным и экологически безопасным.

В данной работе получение модифицированного кремнезема с кислотными группами осуществляли в две стадии:

- 1) прививка якорной метакриловой группы к поверхности силикагеля путем её взаимодействия с 3-(триметоксисилил)пропилметакрилатом (ТСМ) в воде; схема реакции показана на рис. 1;
- 2) прививка звеньев 2-акриламидо-2-метилпропансульфоновой кислоты (АМПСКА) к двойным связям ТСМ на поверхности силикагеля радикальной полимеризацией (рис. 2).

На первой стадии синтеза был использован реактор с магнитной мешалкой, рубашкой для термостатирования и термометром. В реакторе суспензировали силикагель в воде, а мономер вводился в систему порционно, что позволяло минимизировать диффузионные ограничения, повысить конверсию мономера и формировать равномерный привитой слой по всей поверхности пористого носителя, что критически важно для последующего использования материала в качестве сорбента. Было решено выбрать соотношение 4:1 (силикагель к мономеру) как наиболее оптимальное. Далее в течении 5 часов при перемешивании поддерживали температуру реакционной смеси 70 °С. Степень прививки якорного мономера составила от 8 до 10 % от загруженного ТСМ.

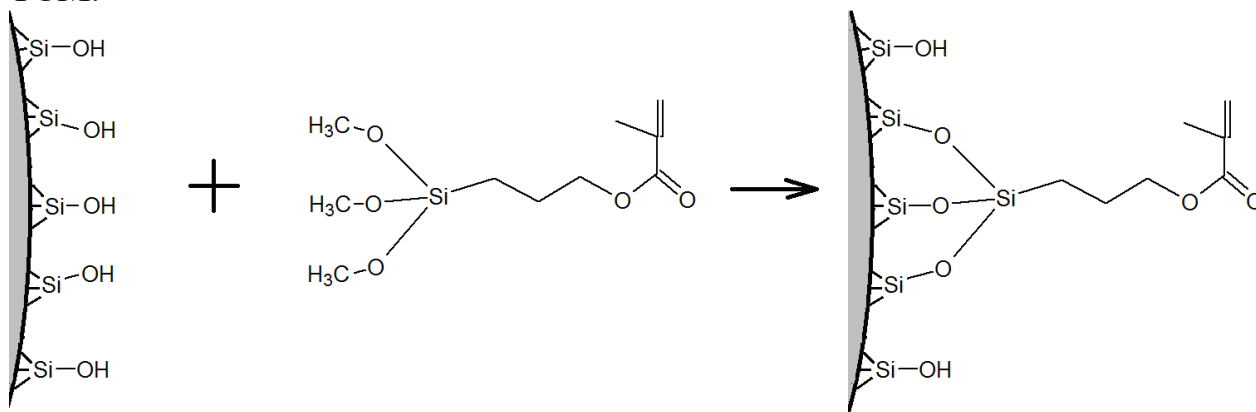


Рис. 1. Первая стадия получения сорбента

На второй стадии к винильной группе якорного мономера был присоединен полимер на основе АМПСКА; схема реакции показана на рис. 2. Процесс полимеризации проводили в стеклянном реакторе объемом 100 мл, оснащённом магнитной мешалкой, обратным холодильником и термометром. Реакционную массу при постоянном перемешивании нагревали до 70°С и проводили синтез в течение 5 часов. По истечении времени реакции нагрев отключали, реактор охлаждали до комнатной температуры и выгружали целевой продукт. Продукт выделяли из реакционной смеси при помощи центрифугирования с последующей трехкратной промывкой этанолом, затем дистиллированной водой. Продукт был высушен под вакуумом до достижения стабильной массы.

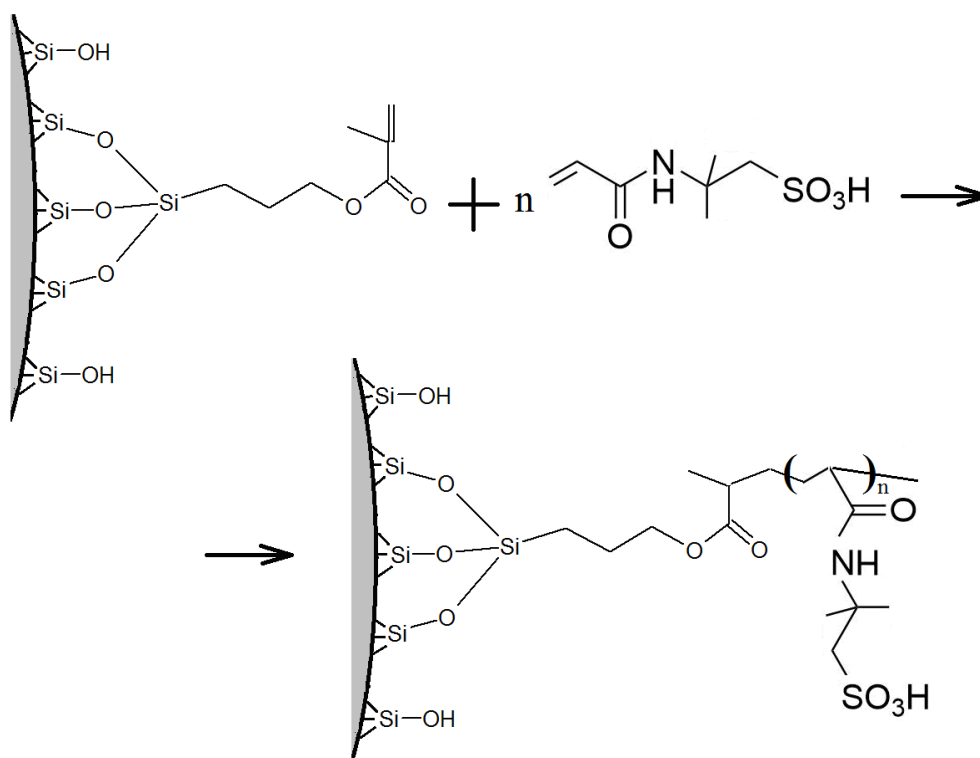


Рис. 2. Вторая стадия получения сорбента

Степень прививки полимера АМПСК к модифицированному сорбенту была оценена методами кислотно-основного титрования по сульфоновым группам и методам Кьельдаля по количеству азота, содержащегося в АМПСК. Было обнаружено содержание полимера в количестве 4% масс.

Таким образом, модернизированный силикагель сочетает в себе заданную структуру и функциональность, позволяющую решать широкий спектр прикладных задач. Выбранные условия синтеза позволили достигнуть требуемой степени прививки полиАМПСКА.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-23-01386, <https://rscf.ru/project/25-23-01386/>.

Список литературы:

1. Pardal F., Lapinte V., Robin J.-J. (2009) Modification of silica nanoparticles by grafting of copolymers containing organosilane and fluorine moities. J. Polym. Sci. A Polym. Chem., 47: 4617-4628. doi: 10.1002/pola.23513
2. Grisolia A., Dell'Olio G., Spadafora A., De Santo M., Morelli C., Leggio A., Pasqua L. (2023) Hybrid Polymer-Silica Nanostructured Materials for Environmental Remediation. Molecules, 28: 5105. doi: 10.3390/molecules.28135105
3. Bucatariu F., Teodosiu C., Morosanu I., Fighir D., Ciobanu R., Petrila L.-M., Mihai M. (2021) An Overview on Composite Sorbents Based on Polyelectrolytes Used in Advanced Wastewater Treatment. Polymers, 13: 3963. doi: 10.3390/polym.13223963

4. Arif M. (2024) Exploring microgel adsorption: synthesis, classification, and pollutant removal dynamics. *RSC Adv.*, 14: 9445-9471. doi: 10.1039/d4ra00563e.
5. Zheng X., Zheng H., Zhao R., Sun Y., Sun Q., Zhang S., Liu Y. (2018) Polymer-Functionalized Magnetic Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Methylene Blue Adsorption. *Materials*, 11: 1312. doi: 10.3390/ma11081312.
6. Bucatariu F., Ghiorghita C.-A., Schwarz D., Boita T., Mihai M. (2019) Layer-by-layer polyelectrolyte architectures with ultra-fast and high loading/release properties for copper ions. *Colloid Surf. A-Physicochem. Eng. Asp.*, 579: 123704. doi: 10.1016/j.colsurfa.2019.123704.