

ХИМИЯ CHEMISTRY

УДК: 504.5 (575) (04)

Кыдралиева Камиля Асылбековна¹,
профессор, д.х.н.

Жоробекова Шарипа Жоробековна²
академик НАН КР, профессор, д.х.н.,

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Кыдралиева Камиля Асылбековна¹,
профессор, х.и.д.,

Жоробекова Шарипа Жоробековна²
КР УИАнын академиги, профессор, х.и.д.

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНДАГЫ
ЭКОЛОГИЯЛЫК ПРОБЛЕМАЛАРДЫ ЧЕЧҮҮҮҮЧҮН
КЕЛЕЧЕКТҮҮ МАТЕРИАЛДАР ЖАНА ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Kydralievа Kamilyа Asylbekovna¹,
professor, doctor of chemical sciences

Zhorobekova Sharipa Zhorobekovna²
Academician of the NAS KR, doctor of chemical sciences

ADVANCED MATERIALS AND TECHNOLOGIES TO SOLUTION ENVIRONMENTAL
PROBLEMS IN THE KYRGYZ REPUBLIC

¹Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет), Москва, Россия
²Институт химии и фитотехнологий НАН КР, Бишкек, Кыргызстан

¹Москва авиация институту (Улуттук изилдөө университети), Москва, Россия
²КР УИА Химия жана фитотехнологиялар институту, Бишкек, Кыргызстан

¹Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia
²Institute of Chemistry and Phytotechnologies NAS KR, Bishkek, Kyrgyzstan

Аннотация. В статье подробно рассматриваются экологические проблемы в Кыргызстане. Авторами предложены материалы и технологии для решения некоторых из них. Разработанные ими магнитоуправляемые нанокomпозиционные материалы обладают свойствами как высокоэффективных сорбентов, так и специфическими свойствами магнитных материалов.

Ключевые слова: Кыргызстан, урановые хвостохранилища, экологические проблемы, магнитоактивные материалы.

Аннотация. Макалада Кыргызстандагы экологиялык көйгөйлөр кеңири каралат. Авторлор алардын айрымдарын чечүү үчүн материалдарды жана технологияларды сунуш кылышкан. Алар иштеп чыккан магниттик башкарылуучу нанокomпозициялык материалдар жогорку эффективдүү сорбенттердин жана магниттик материалдардын өзгөчө касиеттерине ээ.

Негизги сөздөр: Кыргызстан, уран калдыктарын сактоочу жайлар, экологиялык көйгөйлөр, магнитоактивдүү материалдар.

Annotation. The article discusses in detail the environmental problems in Kyrgyzstan. The authors have proposed materials and technologies to solve some of them. The magnetically controlled nanocomposite materials developed by them possess the properties of both highly effective sorbents and specific properties of magnetic materials.

Keywords: Kyrgyzstan, uranium tailings dumps, environmental problems, magnetically active materials.

В Кыргызской Республике в районах урановых хвостохранилищ, которых насчитывается свыше 80, в малобуферных ландшафтах в зонах максимального загрязнения сформировались «техногенные пустыни» – территории сильно эродированные, лишенные верхнего гумусового горизонта, растительности, наблюдаются сильные техногенные аномалии, связанные с превышением ПДК токсичных металлов в десятки раз (в районах Ак-Тюз, Каджисай, Майли-Суу и др.). В настоящее время добыча и переработка урановых руд в республике завершена. Однако вблизи населенных пунктов сохранились десятки шламохранилищ и отвалов некондиционной урановой руды. Большинство из них не рекультивированы и находятся в аварийном состоянии, а стихийные бедствия (оползни, сели, землетрясения), вероятность которых в Кыргызстане велика, угрожают загрязнением все больших территорий. К усугубляющим факторам также относится употребление традиционной молочной и мясной пищи, полученной от домашнего скота, выпасающегося в неконтролируемых и открытых местах отвалов и хвостохранилищ.

В частности, при оценке экологической опасности Кара-Балтинского промпредприятия уранового производства для окружающей среды было выявлено (проект МНТЦ #KR-072-97), что содержание Mo, Pb, Co, Cd и Sb превышает ПДК в среднем от 1,4 до 4 ПДК даже в селитебной зоне, содержание хрома составляет 14-17 ПДК во всех экологических зонах, мышьяк содержится в исследованных почвах в больших количествах – 25-94 ПДК. Его содержание не только велико, но и аномально увеличивается при переходе от промплощадки (25 ПДК) к санитарно-защитной зоне (46 ПДК) и имеет максимальное значение (94 ПДК) в селитебной зоне, что связано с рассеянием As от промобъектов предприятия с аэрозвесями. При изучении процессов пылеобразования на поверхностях хвостохранилищ, находящихся преимущественно в сухом состоянии, оказалось, что с поверхности отвала $S = 1000$ га порыв ветра может снести около 60 тыс. м³ песков. Показано, что в настоящий период (период закрытия основного производства на КГРК), основными техногенными загрязняющими окружающую среду потоками являются пылеунос с хвостохранилища (ХВХ) и близлежащих территорий, лишенных раститель-

ного покрова; инфильтрация атмосферных осадков; отжим раствора при уплотнении хвостовых отходов; подтопление основания ХВХ и селевые потоки в паводковые периоды. Кроме того, вследствие неправильного выбора места расположения технологического резервуара предприятия значительная часть сточных растворов, содержащих уран и сопутствующие токсичные металлы, просачивается через слабый фильтрационный защитный слой и поверхностные породы, достигая водоносных пластов, в том числе в жилой зоне. В рамках реализации проектов Международного научно-технического центра нами предложены ряд материалов и технологий для решения некоторых экологических проблем.

Магнитоактивные материалы и магнитосепарационная технология для удаления радиоактивных и других токсичных металлов

Один из разработанных нами подходов для очистки техногенных технологических резервуаров и шахтных вод заключается в использовании магнитосепарационной технологии удаления токсических элементов с использованием магнитоактивных сорбентов. Преимуществом таких материалов по сравнению с традиционными сорбентами является возможность их извлечения из раствора после окончания сорбции при помощи магнитного поля. Наибольшее распространение среди таких структур получили структуры «ядро-оболочка», где ядром являются магнитные наночастицы оксидов металлов, выполняющих роль носителя и осуществляющих транспортную функцию, и защитной и функциональной оболочкой соединений органической и неорганической природы. Для экологических целей перспективным является использование природного сырья в качестве модификаторов поверхности, в частности, гуминовых веществ (ГВ), природных высокомолекулярных комплексонов, исследованиям которых посвящены многолетние работы всемирно известной школы по химии гуминовых веществ академика Ш.Ж.Жоробековой (Жоробекова и др., 1987-2024).

Гуминовые вещества являются признанными и доказанными экологически безопасными детоксицирующими агентами комплексного действия (в качестве мелиорантов, сорбентов, антидотов), обладающие высоким реабилитационным потенциалом

по отношению к поврежденным биогеоценозам. Наиболее привлекательной чертой ГВ является одновременное наличие в них таких свойств как нетоксичность, биосовместимость, устойчивость к биодegradации и полифункциональность (Жоробекова, 1987, 2022). Перспективность использования ГВ определяется наличием различных видов гумусосодержащего сырья – биомассы на различных стадиях гумификации – от «зрелых» лигнинов, торфов, сапропелей и др. до «молодых» компостов, вермикомпостов, активного ила и пр., что позволяет получить на основе ГВ целый ряд функциональных и гибридных материалов, обладающих конкурентоспособностью на рынке биопродуктов, таких как «зеленые» целевые химикаты. В Кыргызской республике основным сырьем являются окисленные бурые угли месторождений Кызыл-Кия и Кара-Кече, содержащие до 80 % гуминовых веществ.

Благодаря полифункциональности, ГВ могут вступать в практически любые виды взаимодействий и образовывать комплексы с тяжелыми металлами, способны связывать как гидрофобные органические вещества. Экологическими последствиями такого связывания является изменение миграционной способности металлов, снижение токсичности.

Суть предлагаемого подхода для очистки радиохимических загрязнений заключается в создании эффективных сорбентов на основе гуминовых веществ и магнитоактивных наночастиц магнетита Fe_3O_4 -ГК со средним размером 15-20 нм и удельной поверхностью до $150 \text{ м}^2/\text{г}$ (рис. 1, 2, Kydraliev et al., 2016).

После связывания с загрязнителем сорбент удаляется из стоков с использованием техники магнитной сепарации (рис. 3).

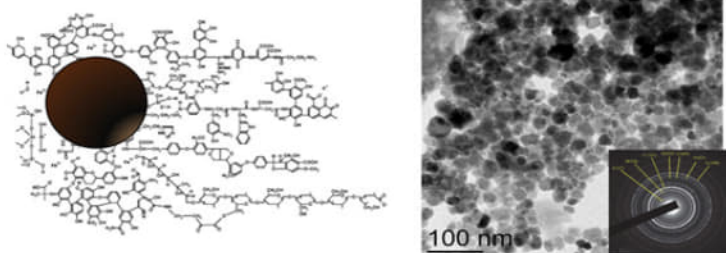


Рис. 1. Схема и микрофотография наночастиц Fe_3O_4 -ГК, полученные на просвечивающем электронном микроскопе

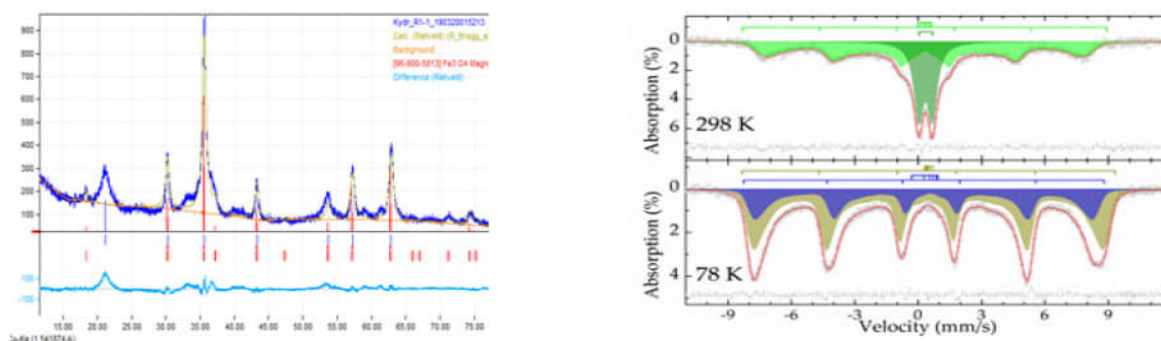


Рис. 2. Дифрактограмма и мессбауеровские спектры наночастиц Fe_3O_4 -ГК

Изучение процессов сорбции UO_2^{2+} -ионов в присутствии ГК, наночастиц магнетита или нанокомпозита ГК- Fe_3O_4 показало высокую сорбционную емкость по отношению к уранил-ионам, что связано с образованием достаточно устойчивых актинидных комплексов с ГК в слабокислых или нейтральных средах, о чем свидетельствуют высокие значения их констант устойчивости ($\log b$ может

достигать 11 для комплексов UO_2^{2+} -ГК, Sachs and Bernhard, 2011). Интересно, что максимальная сорбция UO_2^{2+} -ионов магнитоактивным нанокомпозитом увеличивается по сравнению с исходными компонентами - ГК и магнетита и не меняется при 100-кратном избытке конкурирующих ионов на примере Mg^{2+} (рис. 4). Подобные сорбционные свойства исследуемые сорбенты проявляют и по



Рис. 3. Фотографии магнитной жидкости с Fe_3O_4 -ГК до и после магнитной сепарации (10 масс.%, Nd; 0,1 Тс)

отношению к другим тяжелым металлам.

Таким образом, разработанные нами магнитоуправляемые наноконпозиционные

материалы обладают свойствами как высокоэффективных сорбентов, так и специфическими свойствами магнитных материалов.

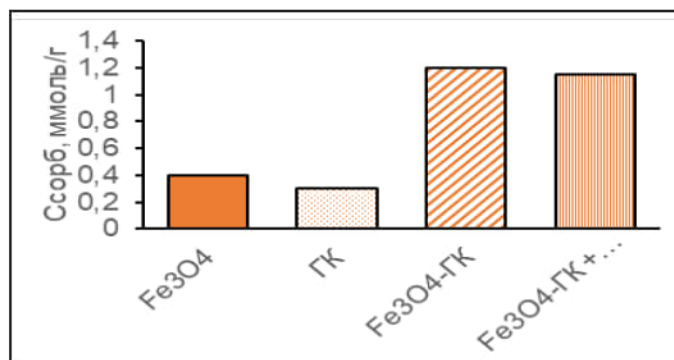


Рис. 4. Сравнительная сорбция уранил-ионов магнитоактивным сорбентом и его компонентами, в т.ч. в присутствии 100-кратного избытка Mg^{2+}

Ион-импринтированные (селективные) сорбенты тяжелых металлов

С целью повышения эффективности предлагаемых сорбентов нами разработаны молекулярно-импринтированные полимеры (molecularly imprinted polymers, MIP), т.е. селективные сорбенты, работающие по принципу «ключ-замок» (Лисичкин и Крутяков, 2006), для ряда ионов металлов, включая уранил-ионы. С этой целью использована технология молекулярного импринтинга, то есть принцип «настройки» полимерных комплексонов по субстрату

(«шаблону») на стадии их синтеза или формирования трехмерной структуры (Kabanov et al., 1979). Речь идет об узнавании и связывании ионов тех металлов, которые были использованы в качестве трафаретных или шаблонных ионов при синтезе макрокомплекса. Сущность метода сводится к образованию комплексов гуминовых кислот с целевыми металлами с последующим сшиванием их цепей, что позволяет зафиксировать благоприятные для связывания данных ионов конформации молекул (рис. 5).

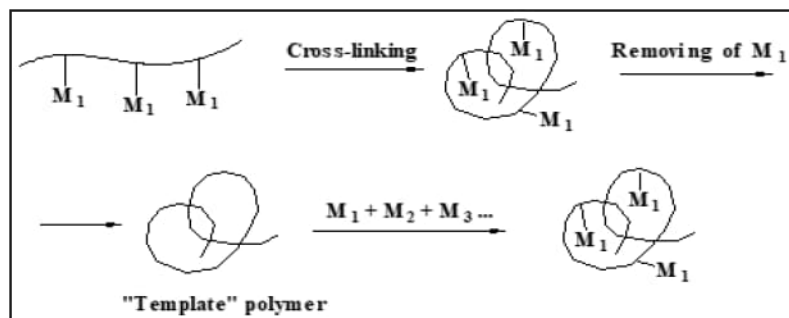


Рис. 5. Схема темплатного синтеза ион-импринтированных сорбентов

Результатом этого является рост сорбционной емкости, а также скорости и селективности сорбции на «настроенных» полимерных сорбентах. Ранее такой подход был использован нашими коллегами для селективного связывания ионов стронция в районах, загрязненных вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, селективными сорбентами на основе сополимеров диакрилата стронция со стиролом, метилметакрилатом, акриловой кислотой и сшивающего агента – диметакрилового эфира этиленгликоля и др. (Помогайло и др., 1994). Такие сополимеры обладали значительной скоростью сорбции (равновесие устанавливается в течение нескольких минут) и сорбционной емкостью (0.5-3.0 мг-экв Sr/g). Фактор селективности (отношение

количества сорбированного «собственного» иона к количеству «чужого» иона) составляет 1:20-1:27.

Количественной характеристикой селективности сорбции для импринтированных препаратов является коэффициент селективности сорбентов, рассчитанный как отношение коэффициента распределения для целевых ионов, Краспр – для конкурирующих ионов металлов. В свою очередь, коэффициент распределения представляет собой отношение начальной концентрации ионов металлов к равновесной концентрации. Как видно из представленных данных (таблица), коэффициенты селективности имеют высокие значения от 90 и выше, что указывает на успешность импринтинга. Наиболее высокие коэффициенты селектив-

ИИС-ГК-ФДА (6:1) для Мт	Cu^{2+}		Ni^{2+}		Co^{2+}	
Бинарный раствор ацетатов металлов	$\text{Cu}^{2+} + \text{Ni}^{2+}$		$\text{Cu}^{2+} + \text{Ni}^{2+}$		$\text{Cu}^{2+} + \text{Co}^{2+}$	
Краспр, л/ммоль	40,23	0,15	4,17	388,00	4,17	155,09
Кселект	268,20		93,04		90,45	

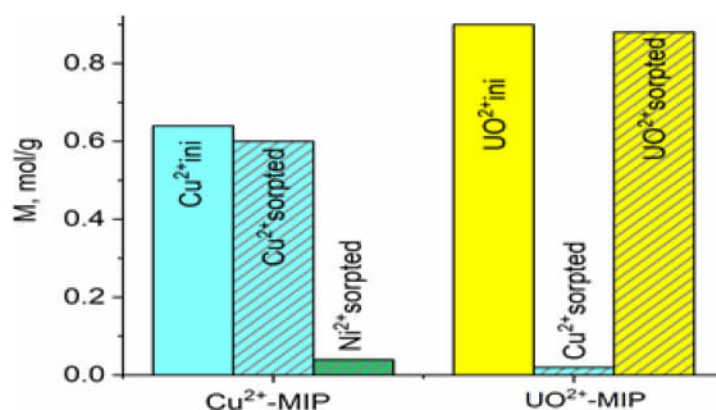


Рис. 6. Сорбция ион-импринтированными сорбентами ионов Cu^{2+} и UO_2^{2+} из бинарных растворов солей металлов

ности импринтированных сорбентов получены для ионов меди (таблица) и уранил-ионов (рис. 6).

Таким образом, разработанный нами новый подход к получению магнитных ион-импринтированных сорбентов на основе на-

частиц магнетита и гуминовых кислот и м-фенилендиамина по отношению к двухзарядным ионам металлов (Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , UO_2^{2+}) сочетает уникальные сорбционные свойства гуминовых кислот с возможностью отделения сорбента от раствора при помощи магнитного поля.

Нестехиометричные

интерполиэлектродитные комплексы

Для разработки защитных технологий от ветровой и водной эрозии и реабилитации поврежденных биоценозов в качестве стабилизирующих агентов предложено использование нестехиометричных интерполиэлектродитных комплексов (НИПЭК) с избыточным содержанием одного из компонентов – катионного или анионного полимера (рис. 7). Впервые такие полимерные комплексы были использованы для ликвидации последствий на Чернобыльской АЭС (Изумрудов и др., 2019). Начиная с 1986 г. в течение 12 лет были синтезированы и испытаны уникальные по эффективности связывающие для почв и грунтов с целью локализации пы-

левидных загрязнений (Кабанов и др., 1991).

НИПЭК образуются в присутствии минимальной концентрации соли (порядка 10^{-3} М), что практически не отражается на водно-солевом балансе почвы. В зависимости от химической природы полимеров и линейной плотности заряда в макромолекулах можно получать растворимые в воде НИПЭК с длинными последовательностями интерполимерных солевых связей (гидрофобных участков), в которые может быть встроено до 50 мол.% звеньев лиофилизующего полимера. Благодаря гидрофобным участкам и областям с нескомпенсированным зарядом НИПЭК прочно связываются с частицами почвы и не вымываются из нее водой (искусственное орошение, атмосферные осадки, талые воды). По сути дела, слабые солевые

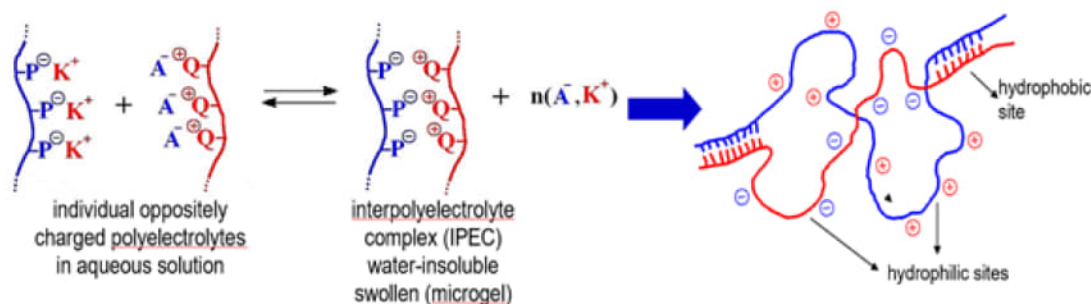


Рис. 7. Схема образования НИПЭК (Панова и др., 2018)

растворы НИПЭК представляют собой одно-растворные композиции, но без отрицательного воздействия на водно-солевой баланс почв (Panova et al., 2017).

Помимо этого, НИПЭК обладают способностью эффективно связывать катионы большинства токсичных тяжелых металлов: хрома, кадмия, кобальта, меди, цинка и других, за счет внедрения катионов в область НИПЭК, сформированную взаимно нейтрализованными звеньями обоих компонентов: поликатиона и полианиона. В результате такого встраивания формируется термодинамически устойчивая четырех – (реже шести –) координационная структура с центральным атомом металла и лигандами – функциональными группами обоих полиэлектролитов. Такой прием позволяет извлекать тяжелые металлы из сильно разбавленных растворов. Биоразлагаемые полимерные рецептуры на основе гуминовых кислот позволили увеличить эффективность связывания ионов никеля (II) в 30 раз по сравнению с синтетической

полиакриловой кислотой (Panova et al., 2019).

Показана целесообразность использования НИПЭК на основе ГК одновременно с высевом семян многолетних трав. Такой прием позволяет в короткие сроки сформировать прочный травяной покров, препятствующий развитию ветровой и водной эрозии и связанному с ней распространению тяжелых металлов (рис. 8).

После выполнения стабилизирующей функции рецептура под действием почвенных микроорганизмов подвергнется биодеструкции, то есть будет превращена в простые нетоксичные вещества, что будет способствовать улучшению экологической обстановки. Показано эффективное прорастание семян растений, несмотря на 2 см слой НИПЭК на основе растворов полианионов и поликатионов нестехиометричного состава ($Q=1$; $Q=2$) на примере полиакриловой кислоты (ПАК) или ГК и полиди-метил-диаллиламмоний хлорида (торговое наименование - ВПК-4) (рис. 8).

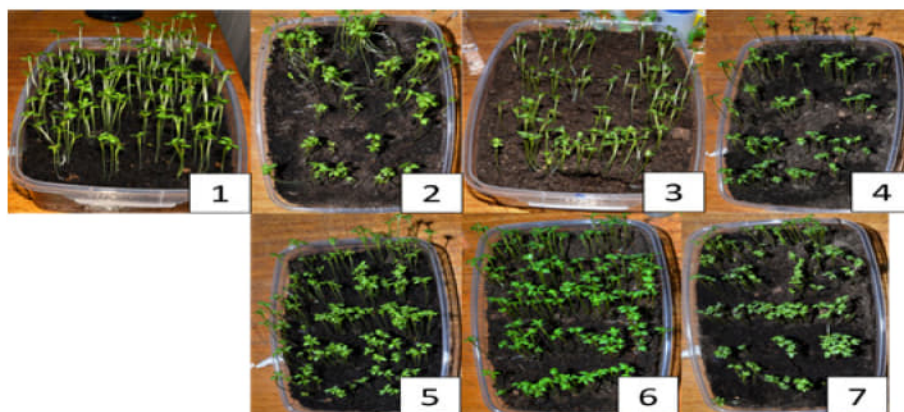


Рис. 8. Влияние НИПЭК на прорастание кресс-салата: 1) контроль – дистиллированная вода, 2) 1% ПАК, 3) 1% ПАК/ВПК-4, $Q=0,2$; 4) 1% ПАК/ВПК-4, $Q=0,1$; 5) 1% ГК; 6) 1% ГК/ВПК-4, $Q=0,2$; 7) 1% ГК/ВПК-4, $Q=0,1$ (высота слоя почвы – 8 см, полимерный слой – 2 см, регулярный полив в течение 2-х недель)

Исследованы защитные свойства полимерных рецептур по показателям водопроницаемости почвенного слоя методом фильтрации, устойчивости обработанной НИПЭК почвы к механическому воздействию методом измерения прочности и противозеро-

онной стойкости с использованием лабораторной аэродинамической установки. Таким образом, использование НИПЭК позволяет решить две взаимосвязанные задачи – концентрирование тяжелых металлов и предотвращение их распространения путем ветровой и водной эрозии.

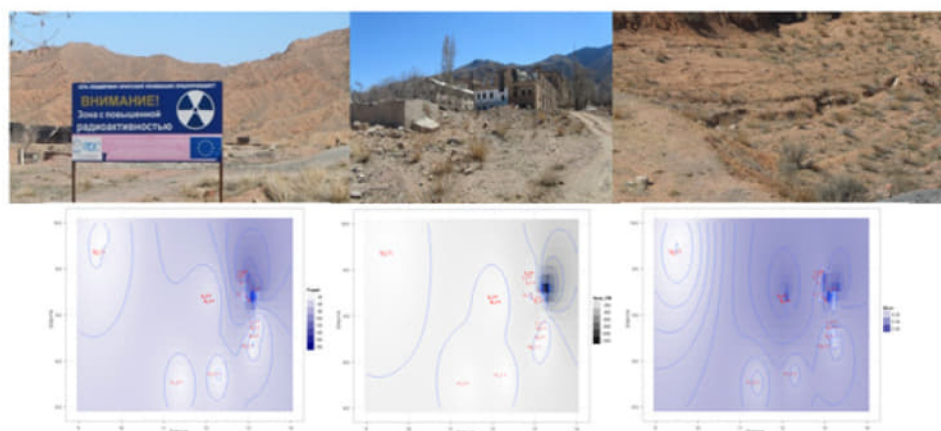


Рис. 9. Фотографии техногенной зоны Каджи-Сая и пространственная интерполяция геохимических и радиологических показателей $Ra226$, $U238$ (экспозиционная доза)

Экологическая оценка и нормирование антропогенных воздействий на экосистемы на примере техногенного района Каджи-Сая

Данный проект основан на количественных методах интегрированной оценки и управления рисками с использованием Триадного подхода для техногенных почв г. Бишкека (Терехова и др., 2014) и Каджи-Сая (рис.

9, Шитиков и др., 2015), при которых учитывались следующие параметры: 1) химические анализы почв (выявление наличия потенциально опасных веществ); 2) экологические параметры (оценка изменений в структуре и функциях микробных сообществ, биоиндикация); 3) токсикологические анализы (выживаемость и репродуктивность, генотоксичность). Результаты обобщены и представлены в виде трех показателей: 1) индекс

экологического риска, выявляющий уровень повреждения биологических систем на уровне популяционного сообщества; 2) индекс биологической уязвимости, показывающий потенциальную угрозу равновесию биологи-

ческих систем; и 3) индекс генотоксичности, оценивающий эффекты генотоксичности.

Разработана интеллектуальная экологическая модель для анализа структурной нарушенности техногенно-загрязненных почв

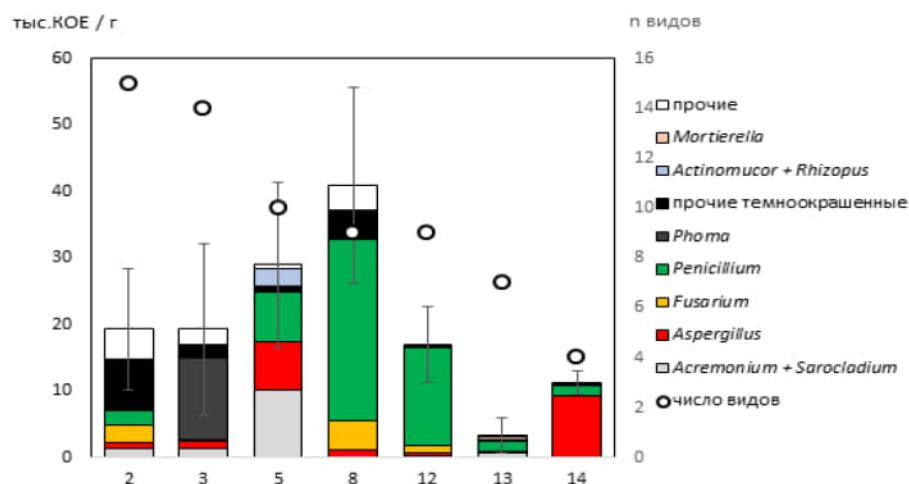


Рис. 10. Фотографии техногенной зоны Каджи-Сая и пространственная интерполяция геохимических и радиологических показателей $Ra226$, $U238$ (экспозиционная доза)

и почвенных ценозов. Описана методика оценки критических уровней воздействия (с заданной вероятностью экологического риска) при техногенном загрязнении почвы по результатам биоиндикации с использованием сообществ микроскопических грибов (рис. 10).

На первом этапе на основе методов ординации выполнялась оценка значений факторов, при которых встречаемость каждого вида максимальна. По этим данным моделировалось статистическое распределение чувствительности видов (Терехова и др, 2017). Для иллюстрации методики использовались результаты анализа токсичности образцов почвы с отвалов урановых шахт (пос. Каджи-Сай, Кыргызстан).

Разработка фиторемедиантов для рекультивации техногенных почв

Для ремедиации техногенных почв предложена экологичная и эффективная технология фиторемедиации, основанная на использовании объединённого метаболического потенциала микроорганизмов и растений на примере пырея ползучего *Elytrigia repens* L. Последнее обусловлено взаимовыгодным сосуществованием фитомелиорантов с микробным сообществом прикорневой зоны,

что способствует их выживанию в неблагоприятных условиях окружающей среды. Для максимального эффекта фиторемедиации применяют растения-фиторемедианты, являющиеся толерантными аборигенными видами для местности, где планируется проведение ремедиационных работ. Препараты на основе ризобактерий, стимулирующих рост растений (plant growth promoting rhizobacteria, PGPR), также используются в качестве инокулятов для дальнейшего увеличения роста, биоконтроля болезней растений, снижения стресса окружающей среды и содействия деградации экотоксикантов аборигенными микроорганизмами. Ключевыми факторами успешной фиторемедиации являются выживаемость введённых PGPR и последующие изменения в структуре микробного сообщества, связанного с ризосферой.

Сорное растение - пырей ползучий *Elytrigia repens* L. относится к одному из самых приспособляемых, устойчивых и распространённых растений в неблагоприятных условиях окружающей среды (Rasmussen et al., 2014) благодаря его хорошо развитой корневой системе, высокому коэффициенту вегетативного и семенного размножения, устойчивости к низким температурам и кислотности почвы и быстрым темпам форми-

рования надземных органов по сравнению с другими растениями. В большинстве случаев на первых этапах зарастания техногенных

участков пырей ползучий занимает одним из первых появившуюся в фитоценозе экологическую нишу и становится доминирующим видом растительного сообщества.



Рис. 11. Фотографии пырея ползучего и коллекции выделенных штаммов ризобактерий



Рис. 12. Фотографии скрининга фунгицидного потенциала ризосферных штаммов бактерий по отношению к *Fusarium heterosporum*, *Fusarium oxysporum*, *Drechslera teres*, *Bipolaris sorokiniana*, *Piricularia oryzae*, *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum atramentarium*, *Cladosporium* sp.

Результаты разработанного нами биотехнологического подхода с использованием препаратов на основе выделенных штаммов ризобактерий пырея ползучего *E. repens* (рис.

11) показали их полифункциональность по показателям ростостимулирующего и фунгицидного потенциала (рис. 12).

Полученные сухие бактериальные препараты на основе технологических штаммов

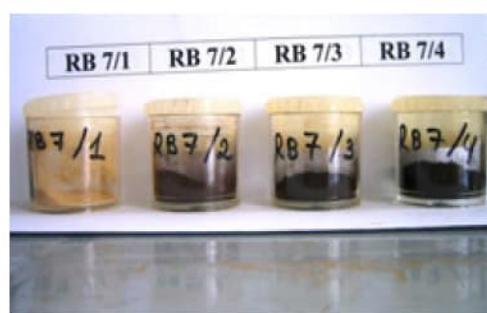


Рис. 13. Фотографии биопрепаратов на основе *B. subtilis* RB-ER57 (слева) и *P. fluorescens* RB-ER15 (справа) с различным содержанием гумата натрия

ризосферных бактерий, где в качестве носителей при высушивании использовался гумат натрия, показали наиболее высокий фунгицидный (*B. subtilis* RB-ER43, *B. subtilis* RB-ER57) и ростостимулирующий потенциал

(*P. fluorescens* RB-ER7, *P. fluorescens* RB-ER15) (рис. 13).

Применение ГВ в качестве носителей обосновано снижением термолабильности ризосферных штаммов при высушивании, с

одной стороны, и способностью ГВ к сольubilизации органических токсикантов (Molson et al., 2002), что позволяет их использовать в биологических восстановительных мероприятиях на техногенных почвах. Кроме того, составляющими процессами биорекультивации с использованием ГВ может быть физико-химическое связывание токсикантов, а также антистрессорное действие ГВ, проявляющееся как в прямом стимулировании жизнедеятельности растений и микроорганизмов, так и в косвенном – за счет способности ГВ улучшать свойства почв, влиять на миграцию питательных веществ и др. (Куликова, 2008).

Численность жизнеспособных бактериальных клеток в полученных препаратах при высушивании с ГВ в сравнении с контролем изменялась в пределах $0,7-2,0 \cdot 10^{13}$ клеток на 1 г сухого препарата в зависимости от вида бактерии и концентрации ГВ и была максимальной при внесении 10% ГВ по отношению к объему высушиваемой жидкости. В результате проведения вегетационного опыта в почвенных условиях установлено, что при обработке семян растворами препаратов RB-ER7+ГВ и RB-ER15+ГВ наблюдалось увеличе-

ние сухого веса стеблей на 16-18 % и корней растений – на 72-82 % по сравнению с контролем. Увеличение общей биомассы растений при использовании сухих препаратов RB-ER7+ГВ и RB-ER15+ГВ составило 28 % от соответствующего показателя контроля.

Результаты проведенного исследования, посвященные технологиям получения препаратов на основе ризобактерий, дают основания для реализации в перспективе качественного перехода к практике применения комплексных ризобактериальных препаратов и гуминовых веществ для восстановления нарушенных почвенных ценозов. Можно полагать, что бактерии из ризосферы сорного вида растений – пырея ползучего, адаптированные к техногенным почвам, будут хорошими фитостимулирующими агентами и вместе с растениями проявят высокую фиторемедиационную активность для техногенных территорий.

Финансирование. Исследования выполнены при финансовой поддержке Международного научно-технического центра (проекты МНТЦ КР-964, КР-993.2, КР-1316, КР-2092, КР-2093).

Список литературы:

1. Жоробекова Ш.Ж. Макролигандные комплексы гуминовых веществ. Бишкек: Илим, 1987, 194 с.
2. Жоробекова Ш.Ж., Худайбергенова Б.М. Влияние природных и антропогенных химических веществ на мутационные процессы в экологии Кыргызстана / В кн.: Экология, Кыргызстан, Бишкек: Илим, 2000, С. 124-128.
3. Жоробекова Ш.Ж., Зарипова А.А. Иониты и ионитные комплексы гуминовых кислот. Бишкек: Илим, 1994. -121 с.
4. Жоробекова Ш.Ж., Ли С.П. Конкурирующее влияние гумусовых кислот почв на процессы растворения-осаждения соединений металлов Бишкек: Илим, 1996.
5. Жоробекова Ш.Ж. Нековалентные комплексы гуминовых веществ. Бишкек: Илим, 2022, 245 с.
6. Изумрудов В.А., Мусабаева Б.Х., Касымова Ж.С., Кливенко А.Н., Оразжанова Л.К. Интерполи-электролитные комплексы: достижения и перспективы. Успехи химии, 2019, 88 (10) 1046-1062, <http://dx.doi.org/10.1070/RCR4877?locatt=label:RUSSIAN>
7. Кабанов В.А., Зезин А.Б., Касаикин В.А., Ярославов А.А., Топчиев Д.А. Полиэлектролиты в решении экологических проблем. Успехи химии, 1991, 60 (3) 595-602.
8. Касымова Э. Д., Кыдралиева К. А., Жоробекова Ш. Ж. Настроенные структуры на основе гуминовых кислот для использования в качестве селективных сорбентов тяжёлых металлов. Теоретическая и прикладная экология, 2014, №2, 42-46.
9. Кыдралиева К.А., Жоробекова Ш.Ж. Трансформация почвенных гумусовых веществ под воздействием микроорганизмов. Бишке: Илим, 2002, 57 с.
10. Кыдралиева К.А., Ш. Ж. Жоробекова. Ионы металлов в ферментинги биторных системах. Бишкек: Илим, 2000, 84 с.
11. Кыдралиева К.А., Жоробекова Ш.Ж., Акулова М., Топильская О.М., Терехова В.А. Экспериментальная характеристика ремедиационных свойств гуминовых препаратов разного генезиса по фону загрязнения почв медью. Теоретическая и прикладная экология. 2015, №2, С. 94-99.
12. Лисичкин Г.В., Крутяков Ю.А. Материалы с молекулярными отпечатками: синтез, свойства, применение. Успехи химии, 2006, 75 (10) 998-1017.

13. Папынов Е.К., Портнягин А.С., Чередниченко А.И., Ткаченко И.А., Модин Е.Б., Майоров В.Ю., Драньков А.Н., Сокольников Т.А., Кыдралиева К.А., Жоробекова Ш.Ж., Авраменко В.А. Сорбция урана на восстановленных пористых оксидах железа. Доклады академии наук. 2016, Том: 468, Номер: 1, 52-56. DOI: 10.7868/S0869565216130120
14. Помогайло А.Д., Н.П. Архипов, Т.С. Мешалкин, Г.И. Джардималиева, А.М. Бочкин, Н.М. Бравая, Н.А. Бакунов. Докл. АН, 1994, 335 (6), 749.
15. Пукальчик М., Терехова В.А., Якименко О.С., Акулова М., Кыдралиева К.А. Метод TRIAD в оценке ремедиационного действия гуминовых препаратов на урбанозёмы. Почвоведение, 2015, 6, 751-760.
16. Терехова В.А., В.К. Шитиков, Б.А.Узбеков, К.А.Кыдралиева. Оценка экологического риска техногенного за-грязнения почвы на основе статистического распределения встречаемости видов микромицетов. Экология. 2017, 5, 339-346
17. Терехова В.А., Белик А.А., Узбеков Б.А., Прохоренко В.А., Худайбергенова Б.М., Кыдралиева К.А., Жоробекова Ш.Ж. Интеграция данных биологической и химической диагностики экологического состояния городских почв Киргизии на основе метода Триада. Доклады по экологическому почвоведению. 2014, №1, выпуск 20, С. 80-104.
18. Шитиков В. К., Терехова В. А., Узбеков Б. А., Кыдралиева К. А., Худайбергенова Б. М. Модели “доза-эффект” для оценки экологического риска при техногенном загрязнении почвы // Принципы экологии. 2015. № 3. С. 21–34. DOI: 10. 15393/jl.art.2015.4221
19. Dzeranov A., Bondarenko L., Pankratov D., Dzhardimalieva G., Jorobekova Sh., Saman D., Kydralieva K. Impact of silica-modification and oxidation on crystal structure of magnetite. Magnetochemistry, 2023, 9, 18. <https://doi.org/10.3390/magne-tochemistry9010018>.
20. Jorobekova Sh., Kydralieva K., Hudaybergenova E. Influence of metal ions on the activity of soil humic-enzyme complexes. Pro- ceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Use of Humates to Remediate Polluted Environments: From Theory to Practice, Zvenigorod, Russia, 23-29 September 2002, Series: Nato Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences, 2004, Vol. 52, 234-251.
21. Kabanov V.A., Efendiev A.A., Orujev D.D. Complex-forming polymeric sorbents with macromolecular arrangement favorable for ion sorption. Journal of Applied Polymer, 1979, 24 (1) 256-267, <https://doi.org/10.1002/app.1979.070240123>.
22. Kydralieva KA, Yurishcheva AA, Dzhardimalieva GI, Jorobekova S.J. Nanoparticles of magnetite in polymer matrices: synthesis and properties. J Inorg Organomet Polym Mater. 2016, Volume 26, No 5. P. 1212-1230. DOI: 10.1007/s10904-016-0436-1
23. Li S.P., Koroleva R.P., Kydralieva K.A., Jorobekova S.J. Development of humics-based detoxicants of complex effect. Chemistry Journal of Moldova. 2012, 7 (1), 29-39. DOI: dx.doi.org/ 10.19261/cjm.2012.07(1).04
24. Molson J.W., E.O. Frind, Van Stempvoort, S. Lesage Humic acid enhanced remediation of an emplaced diesel source in groundwater: 2. Numerical model development and application. J. Contam. Hydrol. 2002. V. 54. P. 277-305.
25. Panova I., Sybachin A., Spiridonov V., Kydralieva K., Jorobekova Sh., Zezin A., Yaroslavov A. Non-stoichiometric interop-lyelectrolyte complexes. Promising candidates for protection of soils. Geoderma, 2017, Vol. 307, Pp 91-97; <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.001> (IF: 4,036; 2016/2017)
26. Panova I9.9, Drobyazko A., Spiridonov V., Sybachin A., Kydralieva K., Jorobekova S., Yaroslavov A. Humics-based inter-polyelectrolyte complexes for antierosion protection of soil: Model investigation. Land Degrad Dev. 2019;Vol 30, Iss. 3, 337-347. <https://doi.org/10.1002/ldr.3228>
27. Pukalchik M., Kydralieva K., Yakimenko O., Fedoseeva E., Terekhova V. Outlining a potential role of humic products in mo-difying biological and ecotoxic properties of the soil - a review. Frontiers Environmental Science. 2019.
28. Rasmussen I.A., Melander B., Askegaard M., Kristensen K., Olesen J.E. Elytrigia repens population dynamics under different management schemes in organic cropping systems on coarse sand // European Journal of Agronomy. 2014. 58. P. 18-27
29. Sachs S., Bernhard G. Influence of humic acids on the actinide migration in the environment: suitable humic acid model substances and their application in studies with uranium — a review. J Radioanal Nucl Chem, 2011, 290, 17–29. <https://doi.org/10.1007/s10967-011-1084-0>
30. Zharkynbaeva R., Dzeranov A., Pankratov D., Saman D., Bondarenko L., Terekho-va V., Tropkaya N., Mametova A., Kydralieva K. Exploring the synergistic effects of goethite inter-calated coal in the presence of humic acids for enhanced growth of Sinapis alba. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 2024, 11, No. 14. <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00530-4>.