
ДЕГРАДАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 631.6.02:631.459.21:632.125

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ И ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН ПО ЛИТЕРАТУРНЫМ ДАННЫМ

© 2025 г. Т.А. Парамонова^{a, b} (<http://orcid.org/0000-0001-8179-8074>),

Е.А. Шынбергенов^{a, c, *} (<http://orcid.org/0000-0001-8412-434X>),

Д.В. Ботавин^a (<http://orcid.org/0000-0001-8374-2496>),

В.Н. Голосов^{a, d} (<http://orcid.org/0000-0002-4351-8323>)

^aМГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119991 Россия

^bИнститут глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля,
ул. Глебовская, 20Б, Москва, 107258 Россия

^cКызылординский университет имени Коркыт Ата, Айтеке би, 29а, Кызылорда, 120014 Казахстан

^dКазанский Федеральный университет, Кремлевская ул., 18, Казань, 420008 Россия

*e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru

Поступила в редакцию 27.04.2024 г.

После доработки 04.09.2024 г.

Принята к публикации 05.09.2024 г.

Систематизированы данные по уровню загрязнения почв и темпам эрозионных процессов в Республике Казахстан (РК) в пределах речных бассейнов с высокой вероятностью вторичного загрязнения почв вследствие латеральной миграции загрязняющих веществ, переносимых совместно с наносами. С использованием поисковых систем Google Scholar, Springer Link, Science Direct, Scopus и РИНЦ были собраны публикации по загрязнению почв тяжелыми металлами, радионуклидами техногенного и природного происхождения, нефтью и нефтепродуктами и компонентами ракетного топлива, а также характеризующие темпы водной и ветровой эрозии и степень эродированности почв РК. На основе собранных данных составлены тематические карты РК, на которых отображены территории с повышенными концентрациями загрязняющих веществ в почвах в пределах крупных речных бассейнов. С использованием сопоставления карт загрязнения почв и карты водной и ветровой эрозии РК выделены бассейны рек, в пределах которых наиболее высока вероятность вторичного загрязнения почв из-за переноса загрязненных частиц водно-эрозионными процессами, а также их локальным переносом за счет развития ветровой эрозии. Установлено, что наиболее интенсивно процессы вторичного загрязнения, прежде всего, аллювиальных почв могут происходить в бассейнах рек Иртыш и Шу. Следует учитывать, что имеющиеся оценки темпов водной эрозии получены на основе расчетов по эрозионным моделям, а оценки ветровой эрозии основаны на полуколичественных данных. В этой связи для различных регионов РК необходимы исследования по верификации расчетов темпов эрозии по эрозионным моделям на основе полевых данных.

Ключевые слова: экологическая оценка, деградация почв, тяжелые металлы, радионуклиды, нефтепродукты, водная и ветровая эрозия почв, речной бассейн

DOI: 10.31857/S0032180X25010101, **EDN:** BXOZSB

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение почв является глобальной проблемой, тесно связанной с уровнями заболеваемости и обеспечением продовольственной безопасности населения [62]. Основными источниками повышения уровня загрязнения почв является выпадение загрязняющих веществ из

атмосферы, наиболее ярко выраженное в районах горнодобывающей деятельности, расположения металлургических заводов, химических производств и других источников промышленных выбросов, а также испытаний ядерного оружия и техногенных аварий, в том числе на объектах атомной промышленности и энергетики [50,

62, 90]. В равной мере локальное загрязнение почв связано с размывом хвостохранилищ, терриконов угольных шахт и отвалов пород на месторождениях полезных ископаемых, организацией хранения промышленных отходов, включая складирование серы, ядерных и бытовых отходов, внесения удобрений и пестицидов на землях сельскохозяйственного использования [12, 80], а в последние 60 лет — и от остатков ракетного топлива на космодромах и в районах падения отделяемых частей ракетносителей [46]. Следует учитывать, что в ореолах положительных геохимических аномалий концентрации в почвах тяжелых металлов, радионуклидов и других загрязняющих веществ в почве могут быть связаны с их исходно повышенным относителем фоновому содержанию в коренных породах [43].

Республика Казахстан (РК) является одной из ведущих стран по запасам, добыче и переработке минерального сырья. Она занимает первое место по запасам W, второе место по запасам U и Cг и входит в пятерку лидеров по запасам Mn, Ag, Zn, Pb. По общему объему добычи минерального сырья без учета нефти и газа РК находится на 10 месте в мире. А по добыче и поставкам U на мировой рынок он находится в тройке лидеров. Постоянно увеличиваются и объемы добычи и переработки других металлов, особенно на востоке и северо-востоке РК. Энергетический сектор потребностей РК обеспечивается эксплуатацией угольных, нефтяных и газовых месторождений (на 57, 21 и 19% соответственно) [34], что создает в районах добычи и переработки горючих полезных ископаемых обширные площади запечатанных и нарушенных почв, а также вероятность их загрязнения углеродсодержащей пылью и нефтепродуктами. В советский период в республике РК действовал ряд полигонов по испытанию ядерного оружия. Наконец, следствием запусков ракет с космодрома Байконур является загрязнение почв остатками ракетного топлива.

При этом за счет развития процессов водной и ветровой эрозии происходит вторичное загрязнение почв, обусловленное латеральной миграцией загрязняющих веществ, сорбированных на почвенных частицах. Причем пыль, переносимая при развитии процессов ветровой эрозии, попадает непосредственно в дыхательные пути человека. Пыль, вовлеченная в перенос ветром на участках с повышенным содержанием токсичных и/или радиоактивных элементов в почве, может транспортироваться на различные расстояния, способствуя загрязнению территорий, находящихся на различном удалении от участков начального загрязнения почвы [7, 81]. Аналогично развитие процессов водной эрозии способствует переносу загрязненных почвенных частиц и их последующему переотложению в различных звеньях флювиальной сети

(днища долин, водоемы природного и антропогенного происхождения) [9, 92]. В этой связи при анализе возможных негативных последствий загрязнения почв важно учитывать и потенциальные возможности переноса загрязненных почвенных частиц при развитии процессов ветровой и водной эрозии внутри речных бассейнов и формирование новых очагов загрязнения почв на удалении от территорий с первичным загрязнением.

В данном обзоре обобщены опубликованные результаты оценок загрязнения почв РК за последние 10–15 лет по типам источников загрязнения, приведены имеющиеся оценки интенсивности проявления водной и ветровой эрозии в различных регионах РК. На основе совместного анализа карт загрязнения почв и особенностей распространения различных видов загрязнения выделены речные бассейны РК, в пределах которых в первую очередь необходимо проведение детальных полевых исследований для выявления возможных негативных последствий перераспределения водно-эрозионными процессами загрязненных наносов и формирование участков с повышенными уровнями загрязнения почв в пределах днищ суходолов, речных долин и примыкающих к ним территорий.

При этом многообразии почв РК, среди которых встречаются черноземы обыкновенные и южные (Chernozems), темно-каштановые и каштановые почвы (Kastanozems) степей Западно-Сибирской низменности и Казахского мелкосопочника, светло-каштановые, бурые и серо-бурые почвы (Calcisols) Прикаспийской и Торгайской низменностей, плато Устюрт и Бетпакдала, сероземы предгорий (Regosols) и горные почвы (Leptosols) островных низкогорий Центрального Казахстана, Алтая и Тянь-Шаня, а также интразональные почвы (аллювиальные (Fluvisols), луговые (Gleysols), солоды (Planosols), солончаки (Solonchaks), солонцы (Solonetz), пески (Arenosols) и др. [21]), определяет формирование сложной конфигурации геохимического поля загрязнения почвенного покрова РК, в котором ореолы рассеяния поллютантов от техногенных источников накладываются на природную матрицу ландшафтных особенностей наземных экосистем, создавая условия развития природно-техногенных процессов миграции экотоксикантов.

Загрязнение почв в РК. Основными загрязняющими веществами почв РК являются радионуклиды в районе расположения бывшего Семипалатинского (Семейского) испытательного полигона (СИП) [39, 44, 78], тяжелые металлы (ТМ) на урбанизированных территориях [57, 77, 88] и на пахотных орошаемых землях [40, 83], нефть и нефтепродукты, поступающие в окружающую среду при разнообразной антропогенной деятельности [32, 33, 35, 64], а также компоненты топлива ракет,

стартовых с комплекса космодрома Байконур [41, 42, 46, 63, 68, 71, 73, 79, 91]. Если при поступлении в почвы районов падения ступеней ракет-носителей остатков ракетного топлива (в том числе несимметричный 1,1-диметилгидразин, (НДМГ, гептил)), как правило, формируются точечные ореолы загрязнения в виде пятен диаметром от 8 до 10 м [61], то земли РК, загрязненные другими поллютантами — ТМ, радиоактивными веществами, нефтепродуктами — занимают в настоящее время около 21.5 млн га (рис. 1а–1в) [78], что составляет ≈8% площади страны. Эти загрязнители распространены на 59% территории Атырауской области, 19% Актюбинской, 13% Западно-Казахстанской и 9% Мангистауской областей [78], тогда как небольшие участки с загрязнением остатками ракетного топлива располагаются в центральной части РК и на востоке страны (рис. 1д) и в общей сложности занимают площади не более нескольких сотен квадратных метров. Малые площади загрязнения почв ракетным топливом по существу исключают саму возможность формирования участков вторичного загрязнения, связанных с переносом

водно-эрозионными процессами загрязненных частиц почвы с участков начального загрязнения. Текущие средние уровни загрязнения почв ТМ в городах РК представлены в приложении (табл. S1). Действующие в РК гигиенические нормативы предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в почвах и фактические значения [17, 27], осредненные по городам с разной численностью населения, приведены в приложении (табл. S2, S3).

Загрязнение почв РК тяжелыми металлами. Основная часть глобальных антропогенных выбросов ТМ происходит за счет бурного развития экономики стран Азии. На них приходится 49% мировых выбросов в атмосферу Cd, 50% — Cu, 43% — Pb и 61% — Zn, а четыре азиатские страны (Китай, Япония, Республика Корея и Казахстан) входят в десятку крупнейших источников выбросов Cd и Hg [69, 74]. В литературе имеются данные по пунктам отбора проб почвы, донных отложений и поверхностных вод в местах повышенного содержания ТМ на территории РК [40].

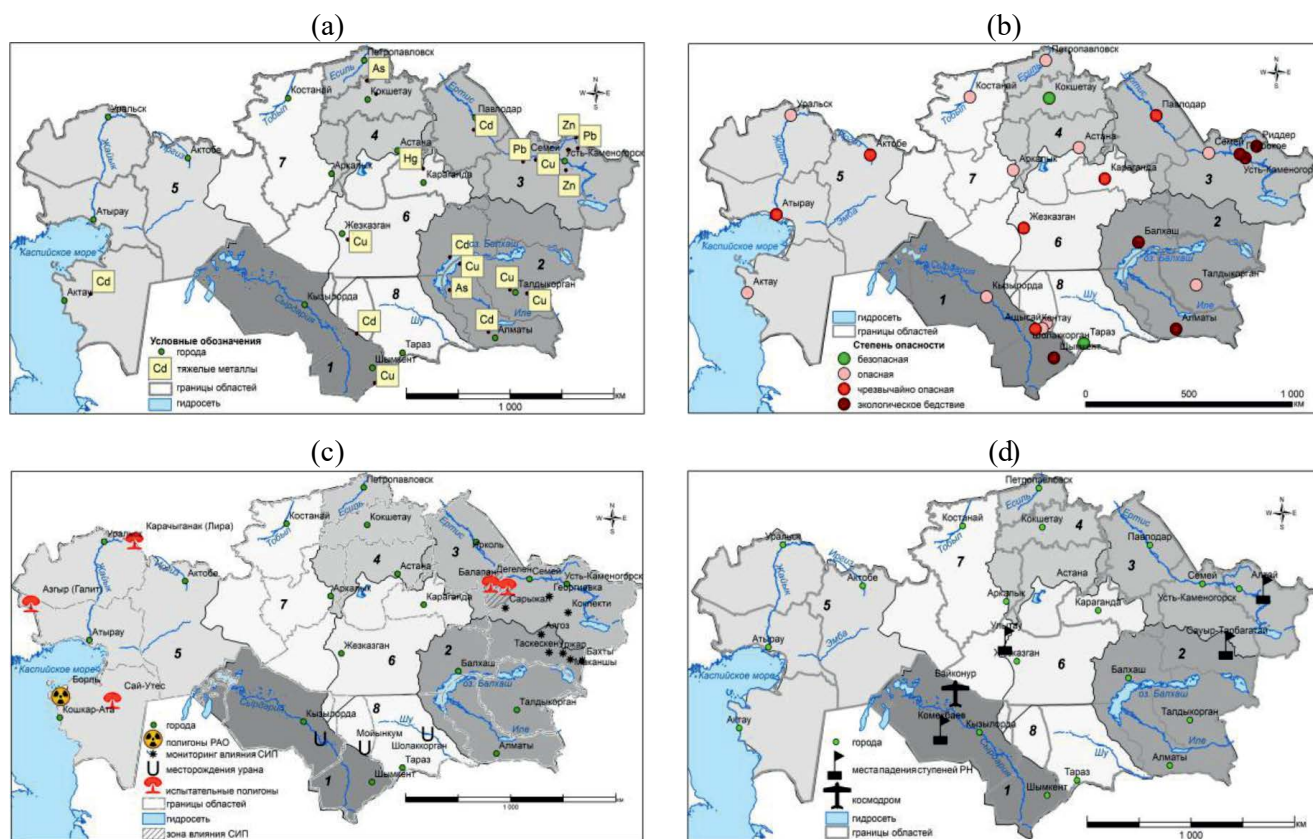


Рис. 1. Загрязнение почв Республики Казахстан: (а) — тяжелыми металлами; (б) — по степени опасности загрязнения почв в городах РК на основе кратности превышения ПДК химических веществ в почве по данным [21]; (с) — радионуклидное; (д) — компонентами ракетного топлива. Цифрами и различным тоном от белого до темно-серого на всех картах обозначены бассейновые инспекции: 1 — Арало-Каспийская, 2 — Балкаш-Алакольская, 3 — Ертысская, 4 — Есильская, 5 — Жайык-Каспийская, 6 — Нура-Сарысуская, 7 — Тобол-Торгайская, 8 — Шу-Таласская.

В целом только под размещение производственных отходов цветной и черной металлургии, химической промышленности занято ≈ 15 тыс. га земельных площадей, из них отвалы горных пород занимают 8 тыс. га, хвосты обогатительных фабрик — около 6 тыс. га и отвалы металлургических заводов — более 500 га [21]. Еще более значительны площади земель, подверженных воздействию аэрогенного поступления ТМ в почвы. На локальном уровне сверхнормативное накопление ТМ в почвах проявляется, прежде всего, на урбанизированных территориях, где сосредоточены промышленные источники выбросов, сбросов и образования твердых промышленных и коммунальных отходов. РГП “Казгидромет” с 2010 г. осуществляет непрерывные измерения концентрации 5 тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu, Zn и Cr) в почвах 22 крупных городов Казахстана, что позволило обобщить сведения по кратности превышения ПДК загрязняющих веществ в урбопочвах [21, 22, 23]. Наиболее неблагоприятным по показателям накопления ТМ в почвах признан треугольник между городами Усть-Каменогорск, Риддер, Зыряновск в Восточно-Казахстанской области [21]. Среди самых загрязненных населенных пунктов РК лидируют города Алматы [31, 84, 94], Усть-Каменогорск [88], Риддер, Шымкент [40, 77, 93], Балхаш и п. Глубокое Восточно-Казахстанской области [10, 56]. В частности, центром цветной металлургии является г. Усть-Каменогорск с крупнейшими предприятиями ТОО “Казцинк” и АО “Усть-Каменогорский титано-магниевого комбинат”. Основными источниками загрязнения почв ТМ в г. Шымкент являются разрабатываемые месторождения полиметаллических руд, горно-обогатительная фабрика, промышленные предприятия цветной металлургии (свинцовый завод, аккумуляторный завод). Город Риддер является одним из центров горнодобывающей и металлургической промышленности (Zn, Pb, драгоценные металлы); в 2022 г. мониторинг содержания ТМ в почвах парковой зоны города, удаленных на ≈ 2 –4 км от границ промплощадок свинцового и цинкового заводов Лениногорского полиметаллического комбината выявил накопление Pb на уровне 805–940 мг/кг, что сигнализирует о высоком уровне загрязнения почв [14]. Горнометаллургический комбинат ТОО Корпорации “Казахмыс” — основной источник загрязнения почв в г. Балхаш (рис. 1а). В 2022 г. в урбопочвах санитарно-защитной зоны предприятия были обнаружены экстремально высокие концентрации Zn (1300 мг/кг) и Cu (300 мг/кг), а в парковой зоне города содержание элементов в почвах составляло 565 и 90 мг/кг соответственно [14]. Особенности расположения г. Алматы в предгорьях и высокая численность населения способствуют тому, что автотранспорт и ТЭЦ являются основными источниками загрязнения почв. Наконец, результаты

исследований в г. Кентау (табл. S2) показали, что в почвах по-прежнему содержатся тяжелые металлы (Zn, Pb, Cu и Cd) в концентрациях, превышающих предельно допустимые, хотя с момента закрытия горно-обогатительной фабрики “ПК Южполиметалл” прошло уже 27 лет [57]. В урбопочвах п. Глубокое Восточно-Казахстанской области зафиксировано чрезвычайно высокое содержание ТМ: опасное или очень опасное загрязнение охватывает 84% площади данного населенного пункта [10, 56]. По данным Казгидромета, превышения ПДК_{вал} по содержанию Pb были выявлены в 24, Cu — в 18, Zn — в 12, Cr — в 4 городах РК [14]. Таким образом, загрязнение почв ТМ в РК преимущественно связано с добычей и переработкой полиметаллических руд, а также с дальнейшими производственными циклами по использованию металлов, наиболее часто территориально приуроченными к производственным зонам земель населенных пунктов (рис. 1б). В этой связи открытые опубликованные данные по загрязнению почв ТМ в основном ограничиваются оценками уровней их накопления в урбопочвах различных городов РК.

Проблема загрязнения почв РК экотоксикантами класса ТМ не ограничивается только границами земель поселений или добычи полезных ископаемых. Например, недавнее скрининговое обследование экологического состояния почв пахотных угодий ЛКХ “Ждановское” Костанайской области выявило высокий уровень риска для здоровья людей, возникающий вследствие избыточного накопления в агрочерноземах соединений As, Cd, Hg, Pb, Zn, Ni и Cu, вносимых в почвы в составе средств химизации сельского хозяйства [95]. В почвах орошаемых земель сельскохозяйственного назначения в южных регионах Казахстана на систематической основе отмечается превышение ПДК, в частности, в аллювиальных почвах древнедельтовой равнины р. Сырдарья на пахотном Шиелийском массиве рисосеяния зафиксировано 2-кратное превышение допустимых норм содержания Pb и 1.5-кратное — Ni [21]. Это актуализирует необходимость мониторинга содержания ТМ в почвах всех видов землепользования с акцентом на контроль экологического состояния почв аккумулятивных позиций водосборного пространства.

Радионуклидное загрязнение почв РК. При формировании современного радиационного фона на территории РК существенную роль играет вклад техногенных источников, которые представлены вовлеченными в технологическую миграцию ураном, торием и продуктами их ядерного распада (^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Po , ^{210}Pb и др.), а также техногенными радионуклидами, массово поступившими в окружающую среду в районах размещения действовавших в СССР полигонов по испытанию атомного оружия (СИП и др.) и

полигонов отработки ядерно-взрывных технологий для промышленных целей (Ли́ра, Галит и Сай-Утес) (рис. 1с).

РК обладает вторыми по величине запасами природного U, уступая по показателю сырьевой обеспеченности лишь Австралии, а по объемам добычи U находится на первом месте в мире [87]. С момента получения независимости после распада СССР ежегодный объем добычи U в РК увеличился с 796 до 19 500 тыс. т, т.е. почти в 25 раз. Только разведанные запасы месторождений оцениваются на настоящий момент как 558 000 т U_3O_8 [4]. В географическом отношении ураноносные провинции охватывают фактически все регионы страны. В настоящее время в шести ураноносных провинциях РК (Прибалхашская, Прикаспийская, Илийская, Северо-Казахстанская, Сырдарьинская, Шу-Сарысуйская) открыто 53 рентабельных месторождения U; из них освоено 16, остальные отмечены как перспективные [19, 59, 70]. Среди них урановые рудники Инкай, Каратау, Центральный Мынкудук, Южный Инкай, приуроченные к месторождениям Шу-Сарысуйской ураноносной провинции (Сузакский район Южно-Казахстанской области), входят в десятку крупнейших на 2022 год предприятий по добыче U и обеспечивают в совокупности 18% мировой добычи элемента [87].

В районах добычи и переработки U на территории РК имеются очаги техногенного загрязнения, представляющие собой более 200 млн т радиоактивных отходов, накопленных в хвостохранилищах, отвалах вскрышных пород, на штабелях кучного выщелачивания [13]. Так, “горячей точкой” на юго-западе РК (Мангистауская область) является хвостохранилище намывного типа уранового ГОК “Кошкар-Ата”, где сосредоточены отходы производства с суммарной активностью 416 ТБк, среди которых только ^{226}Ra (дочерний продукт радиоактивного распада ^{238}U) имеет удельную активность 800 Бк/кг [59] при среднем для РК показателе 35 Бк/кг [85]. Соответственно, мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭДГИ) вблизи объекта накопленного вреда окружающей среде варьирует в диапазоне 0.3–34 мкЗв/ч, что на несколько порядков выше среднемировых показателей 0.057 мкЗв/ч [85] и в пересчете на годовую дозу облучения населения составляет 2.6–298 Зв/год при рекомендованном Международной комиссией по радиологической защите (International Commission on Radiological Protection, ICRP) допустимом уровне дополнительного облучения человека от техногенных источников 0.3 мЗв/год (с приемлемостью увеличения пороговой величины в районах размещения урановых производств, в том числе рекультивированных участков размещения добычи и переработки, до 1 мЗв/год) [47]. Другой пример радиоактивного загрязнения территорий бывших урановых месторождений (ESM1).

Масштабность радиоактивного загрязнения почвенного покрова — как основного депонирующего компонента окружающей среды — достигается при производстве U таких показателей, что на территории РК радиоактивные геохимические аномалии техногенного происхождения фиксируются не только в районах добычи и переработки U, но имеется также ореол трансграничного рассеяния радионуклидов уранового ряда от располагающегося на территории соседнего Кыргызстана Кара-Балтинского горнорудного комбината, который во времена существования СССР был крупнейшим объектом по производству урановых концентратов (производство остановлено в 2015 г.). Миграция радионуклидов, поступавших со сточными водами или при размыве хвостохранилищ и отвалов Кара-Балтинского комбината в водоток р. Шу, их переотложение в составе речных наносов ниже по течению формируют современные параметры накопления радионуклидов в аллювиальных луговых и аллювиальных лугово-болотных почвах поймы на уровне 63 Бк/кг для ^{226}Ra и 68 Бк/кг для ^{228}Ra [70], что превышено по сравнению со среднемировым природным фоном. При этом содержание естественных радионуклидов в донных отложениях в нижнем течении реки Шу превышает их содержание в пойменных почвах, а отсутствие мониторинга процессов распространения U, Th и дочерних продуктов их ядерного распада в долине реки усугубляет проблему потери контроля над геохимическими потоками потенциально токсичных элементов.

Дополнительными неспецифическими источниками загрязнения почв РК радиоактивными элементами природного происхождения служат процессы добычи и переработки руд цветных и редких металлов, угля, нефти и газа, поскольку уран и торий присутствуют там в рассеянном состоянии. Так, каменный уголь из Карагандинского, Экибастузского и Каражирского бассейнов содержит 0.8 ± 0.4 мг/кг U и 1.1 ± 0.3 мг/кг Th [36]. На газонефтяном месторождении Каламкас и нефтегазоконденсатном месторождении Жетыбай (Мангистауская область) благодаря накоплению в приповерхностных горизонтах серо-бурых и солончаковатых почв радионуклидов уранового ряда МЭДГИ оценивается как 0.3–103 мЗв/ч [44, 58], что создает серьезные радиоэкологические риски локального уровня. Таким образом, в районах добычи, переработки, хранения, размещения отходов производства атомной и топливной промышленности отмечается повышение уровней накопления природных радионуклидов в почвах, что приводит к увеличению радиационного фона местности.

В отношении техногенных радионуклидов важнейшими источниками загрязнения ими почвенного покрова РК являются зоны проведения испытаний на функционировавших в СССР полигонах

ядерного оружия и отработки подземных ядерных взрывов в мирных целях. Помимо СИП, во времена Советского Союза на западе территории РК действовали менее известные ядерные полигоны: Ли́ра, Галит, Сай-Утес, взрывы на которых производились как в военных, так и в мирных исследовательских или производственных целях [2, 30, 53, 58]. В то же время авария на Чернобыльской АЭС не повлияла значимым образом на изменение радиационно-экологической обстановки на территории РК, так как она не вошла в ореол восточного следа радиоактивных выпадений [43].

Первый в СССР и крупнейший в мире СИП был расположен на стыке трех восточных областей РК (Восточно-Казахстанской, Карагандинской и Павлодарской) и занимал площадь 18 500 км² [2]. За 40 лет его существования, в период с 1949 по 1989 гг., на нем было проведено 465 ядерных взрывов, включая 88 атмосферных, 30 наземных и 347 подземных [1], в результате которых компоненты окружающей среды района размещения полигона оказались загрязненными долгоживущими техногенными радионуклидами — ¹³⁷Cs, ²⁴¹Pu, ²⁴¹Am и др. В частности, уровень аккумуляции трансурановых элементов в поверхностных слоях почв СИП через ≈60 лет после проведения последних испытаний ядерного оружия в атмосфере на объекте Экспериментальное поле достигает 50–60 000 Бк/кг ⁹⁰Sr, 20–77 000 Бк/кг ¹³⁷Cs, 45–4 730 Бк/кг ²⁴¹Am и 170–9 100 Бк/кг ²⁴¹Pu; в пойменных почвах ручья, вытекающем из испытательной штольни на площадке Дегелен через ≈40 лет после проведения подземных взрывов — 810–940 Бк/кг ²⁴¹Am и 15 300–17 600 Бк/кг ²⁴¹Pu; загрязнение почв после утечки продуктов подземного взрыва на объектах Атомное озеро-1,2,3 — 340–1 100 Бк/кг ²⁴¹Am и 1 400–3 100 Бк/кг ²⁴¹Pu [38, 60]. Это привело к формированию выраженных радиоэкологических рисков на площади 12,3 км² [82]. Площадь территории, подверженной аэрогенному радиоактивному загрязнению после экскавационного радиоактивного выброса на площадке Сары–Узен, достигает нескольких десятков км², а удельная активность радионуклидов в поверхностных слоях почв вблизи испытательных скважин повышена до максимальных величин: ¹³⁷Cs — 340 Бк/кг, ⁹⁰Sr — 590 Бк/кг, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu — 90 Бк/кг, ²⁴¹Am — 13 Бк/кг [65]. При исследовании миграции продуктов подземных ядерных взрывов с ручьевыми водами, вытекающими из испытательных шахт объекта Дегелен выяснилось, что устойчивое загрязнение аллювиальных почв поймы ¹³⁷Cs фиксируется на расстоянии до 1,5 км от устья шахты и распространяется на 10 м от уреза воды, в то время как мигрирующие в водах ⁹⁰Sr, ²⁴¹Am и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu отличаются более высокой мобильностью, что выражается в формировании более обширных ореолов радиоактивного загрязнения аллювиальных

почв [75]. Схожая ситуация сложилась на полигоне Ли́ра, где отмечены повышенные запасы радионуклидов в аллювиальных пойменных почвах р. Березовка вблизи местоположения объекта, что позволяет предположить загрязнение почв участков поймы, расположенных ниже по течению, в связи с транспортом сильно загрязненных наносов при формировании паводков [17].

В окрестностях бывшего СИП радиоактивному загрязнению подверглись около 2 млн га сельскохозяйственных угодий [35, 64]. В целом опасный уровень радиоактивного загрязнения почвенного покрова техногенными радионуклидами сохраняется на расстоянии до 100–150 км от СИП по преобладающим в районе местоположения Семее (Семипалатинска) Ю и ЮВ румбам ветрового переноса. На более отдаленных дистанциях удельные активности и запасы техногенных радионуклидов соответствуют уровню их глобального выпадения из атмосферы и не создают значимых радиоэкологических рисков (табл. S4).

Анализ глубины проникновения техногенных радионуклидов в доминирующих каштановых почвах площадки СИП показал, что вплоть до настоящего времени их радиоактивное загрязнение является поверхностным, и основная масса ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²⁴¹Am, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu (до 89%) сосредоточена в верхнем слое 0–5 см [24, 67]. При исследовании аллювиальных почв ручьев, вытекающих из шахт объекта Дегелен, обнаружилось, что в то время как ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в основном аккумулируются в верхнем слое 0–5 см, глубина массового проникновения трансурановых радионуклидов достигает 15 см, а их значительные количества фиксируются вплоть до глубины 100 см (>1000 Бк/кг ²³⁹⁺²⁴⁰Pu и до 100 Бк/кг ²⁴¹Am [75], что создает потенциальный риск дальнейшего распространения высокотоксичных трансурановых элементов с грунтовыми водами.

Результаты исследований вертикального распределения ¹³⁷Cs в почвах ближайших к СИП населенных пунктов Долонь, Кайнар, Сарыжал, Карааул указывают на его миграцию на глубину до 10–20 см за счет агротурбации, но за пределами поселков радионуклиды содержатся, как правило, лишь в верхнем слое 0–10 см целинных почв [11]. При этом нисходящая миграция ²³⁸U, более подвижного в окислительной обстановке, чем ¹³⁷Cs, происходит более интенсивно, и концентрации радионуклида в пробах воды из ряда колодцев поселков Долонь, Тайлан, Сарыжал и Карааул сопоставимы или превышают предлагаемый Всемирной организацией здравоохранения допустимый уровень 15 мкг/л [89].

Анализ литературы показывает, что основное радионуклидное загрязнение почв в Казахстане охватывает территории СИП и земель, примыкающих к местам добычи U, базирующихся на

приграничной территории. В последнем случае речь идет о днищах долин рек Шу [70] и Сырдарья [59]. При этом содержание U и его дочерних продуктов в донных отложениях р. Шу превышает их содержание в аллювиальных почвах [18], что определяет возможность дальнейшего флювиального переноса радионуклидсодержащих частиц вниз по течению и их переотложения во время паводков в аллювиальных почвах поймы, т.е. распространение ореола радиоактивного загрязнения в пределах речного бассейна.

Загрязнение почв нефтяными углеводородами. Нефтяная промышленность является одним из основных источников загрязнения почв в западной части страны, где вблизи побережья Каспийского моря в пяти административных областях (Магистауская, Атырауская, Актюбинская, Кызылординская, Западно-Казахстанская) сосредоточены основные месторождения углеводородного сырья: Карачаганак, Узень, Каламкас, Карачанбас, Тенгиз, Жанажол, Кумколь и др. [29, 35, 44, 54]. Кроме того, в стране функционируют три нефтеперерабатывающих завода (Чимкентский, Павлодарский и Атырауский НПЗ), развита сеть магистральных трубопроводов и нефтепродуктопроводов, являющихся источниками загрязнения в случае аварийных разрывов. Анализ почвенных проб, отобранных в окрестностях НПЗ Чимкента [55], месторождений Тенгизшевройл, Кенкияк, Жанажол, Карашыганак [37, 44], Акшабулак, Кумколь, Жанаталап, Актас [33], в ряде случаев свидетельствует о наличии нефтяного загрязнения и его потенциальных экотоксических эффектах. Только в 2000 г. на месторождениях Западного Казахстана отмечались разливы более 5 млн т нефти, охватившие площадь 194 000 га [44], реципиентами которых послужили каштановые, лугово-каштановые и пойменные почвы транзитно-аккумулятивных и аккумулятивных фаций ландшафтов. Наибольшие доли площади загрязнения почв нефтепродуктами зафиксированы в Атырауской (59%), Актюбинской (19%), Западно-Казахстанской (13%) и Мангистауской областях (9%) [21].

В замасоченных солончаках окрестностей месторождений Макат, Доссор, Комсомольское, Танатар, Тентексор, Искене (Атырауская область) содержание нефтепродуктов в 24–138 раз превышает условную ОДК (1 000 мг/кг), а максимальное достигает 172 480 мг/кг [21]. В нефтедобывающих регионах Западного Казахстана и Торгайской ложбины на площади более 500 тыс. га имеются большие участки почвы, загрязненные нефтью [35]. По данным государственного экологического мониторинга состояния почв, а также независимым исследованиям, содержание нефтепродуктов в серо-бурых и серо-бурых солонцеватых суглинистых почвах вблизи нефтяных месторождений Мангистауской области достигает 1–5 г/кг [44], что соответствует

разбросу уровней загрязнения от низкого до очень высокого по ориентировочным оценкам шкалы Ю.И. Пиковского. Вместе с тем в лугово-каштановых и темно-каштановых легкосуглинистых почвах окрестностей Карачаганакского нефтяного месторождения уровень накопления нефтепродуктов достигает всего 17–28 мг/кг [32], что соответствует фоновому содержанию нефтяных углеводородов и свидетельствует о локальных масштабах распространения ореолов загрязнения почв.

Важно, что загрязнение почв нефтяными углеводородами несет с собой коннотацию сопутствующего загрязнения почв ТМ и радиоактивными элементами, такими как никель, ванадий, свинец, кобальт и др., а зачастую также развитие деградационного процесса засоления/осолонцевания почв при разрывах водоводов минерализованных пластовых вод [37, 64]. Высоковязкие сернистые нефти РК обогащены соединениями V и Ni, содержание которых доходит до 194 и 15 мг/л соответственно [27]. В этой связи в ореолах выраженного загрязнения нефтепродуктами лугово-болотных суглинистых почв месторождения Тенгизшевройл (Атырауская область) фиксируются уровни накопления Ni и В в 15–20 раз, Zn и F – в 5–6 раз превышающие ПДК. В серо-бурых и серо-бурых солонцеватых суглинистых почвах нефтяных месторождений Мангистауской области содержание Ni достигает 100, Pb – 80 и Cr – 100 мг/кг, что превышает кларки элементов в почвах в ≈ 2 , 5 и 1.2 раза соответственно [44].

Современные представления о развитии водной и ветровой эрозии почв в РК. В настоящее время порядка 1.9 млрд га ($\approx 65\%$) мировых почвенных ресурсов Земли подвержено деградации [66]. При этом на 85% это вызвано эрозией почв, определяющей общемировые экономические издержки как в пределах сельскохозяйственных угодий, так и вне их на уровне 400 млрд долл. США в год [5]. При этом на долю РК приходится только 0.2% от общемировой суммы издержек (табл. S3).

По данным Комитета по управлению земельными ресурсами министерства сельского хозяйства РК, почвы на 75% территории страны в настоящее время подвержены деградации, при этом эрозионные процессы развиваются на площади более 30.5 млн га. Ежегодные потери гумуса в сельском хозяйстве страны составляют в среднем 1.2–1.6 т/га [78], в то время как в России за счет эрозии почв на пашне теряют в среднем 0.5–0.7 т/га гумуса в год [26].

По данным 2022 г. площади сельскохозяйственных угодий РК, подверженных водной эрозии, составляют порядка 5 млн га, из них более 1.2 млн га – обрабатываемые земли. Наибольшие площади смыва почв в разрезе административно-территориальных единиц РК и за рубежом

Таблица 1. Площади сельхозугодий, подверженных водной эрозии почв в РК и ряде других стран (по [21])

Административные регионы РК и другие страны	Площади смытых почв и их доля от общей площади сельскохозяйственных земель		Площади смытых почв на пашне и их доля от общей площади пашни	
	тыс. га	%	тыс. га	%
Туркестанская	933.7	18.9	232.3	19
Мангистауская	800.0	16.1	—	—
Алматинская	612.7	12.4	26.2	2.1
Акмолинская	562.0	11.4	351.3	28.8
Актюбинская	473.1	9.6	34.2	2.8
Западно-Казахстанская	274.5	5.5	72.6	6.0
Восточно-Казахстанская	232.9	4.7	177.7	14.6
остальные регионы РК	1 061.4	21.4	325.7	26.7
Всего по РК	4 950.3	100	1 220.0	100
Россия	36 500.0 [8, 15]	—	24 700.0 [8, 15]	—
США	17 806.2 [45]		19 031.0 [66]	
Канада	—		6 000.0 [86]	
Китай	129 320.0 [48]		—	

представлены в табл. 1. Большая часть смытых почв (3888.9 тыс. га или 78.6% от всей площади смытых почв) находится в нескольких регионах РК (7 областей). На остальной территории, представленной 10 областями и 3 городами республиканского значения, в категорию смытых почв включены — 21.4% сельскохозяйственных земель. При этом наибольшая доля смытых почв на пахотных угодьях отмечается в центральной (Акмолинская область) и восточной (Восточно-Казахстанская область) частях страны. Количественные оценки современных темпов водной эрозии в разных регионах РК получены на основе использования Универсального уравнения эрозии почв (USLE) [28]. В зависимости от характеристик рельефа, смываемости почв и набора сельскохозяйственных культур расчетные темпы смыва варьируют в широком диапазоне от 1.5–3 т/га в пределах равнинных территорий вплоть до 50 т/га в горах [72, 76].

Ветровая эрозия почв в РК проявляется на площади 25.5 млн га [35]. Ускоренными темпами эоловые процессы развиваются на обширных песчаных массивах: Приаральские Каракумы и Кызылкум в Кызылординской области, Мойынкум и Бетпак-Дала в Туркестанской и Жамбылской области, Большие и Малые Барсуки в Актюбинской области, Сарыесик-Атыраукум в Жетысу и Алматинской области (табл. 2), а также в Павлодарской области, где распространены легкие по механическому составу и известковые почвы [78].

На пахотных угодьях ветровая эрозия в основном наблюдается только в Павлодарской области (334 300 га), на долю которой приходится 74% от всей площади пашни, подверженной ветровой эрозии почв в РК. Это связано с наиболее высокой долей пашни в данном регионе по сравнению с другими областями распространения ветровой эрозии.

В целом пояс развития процессов ветровой эрозии протягивается, согласно данным из Национального Атласа РК [20], от Каспийского моря до озера Балхаш в основном по области распространения бурых и такыровидных почв и песков (рис. 2), а водная эрозия наиболее значительная в бассейне р. Иртыш. В отсутствие прямых наблюдений за интенсивностью ветровой эрозии показательными данными о повторяемости пыльных бурь и запыленности атмосферы, согласно которым большая часть территории РК относится к территориям с наиболее высокими уровнями запыленности в летние месяцы [49].

Влияние эрозионных процессов на загрязнение почв в пределах речных бассейнов РК. Участки аномально высокого загрязнения почв, особенно в пределах участков добычи полезных ископаемых, городских и территорий с повышенными уровнями содержания радионуклидов, а также пахотных земель вследствие развития процессов водной эрозии являются источниками потенциального загрязнения участков формирования аллювиальных почв и стратоземов, а именно днищ сухих долин, пойм рек, малых водотоков и прибрежных зон водоемов.

Таблица 2. Площади земель, подверженных ветровой эрозии почв в РК (по [21])

Административные области РК	Площади дефлированных земель и их доля от общей площади сельскохозяйственных земель		Площади дефлированных земель и их доля от общей площади пашни	
	тыс. га	%	тыс. га	%
Атырауская	3 133.9	13	—	—
Туркестанская	3 112.9	12.9	0.2	0
Жетысу	2 901.9	12	22.0	4.9
Кызылординская	2 846.7	11.8	—	—
Жамбылская	2 414.0	10	1.6	0.4
Актюбинская	2 101.1	8.7	—	—
Алматинская	2 050.5	8.5	18.0	4
Павлодарская	1 296.3	5.3	334.3	74
Остальные регионы РК	4 310.8	17.8	75.7	16.8
Всего по РК	24 168.1	100	451.8	100

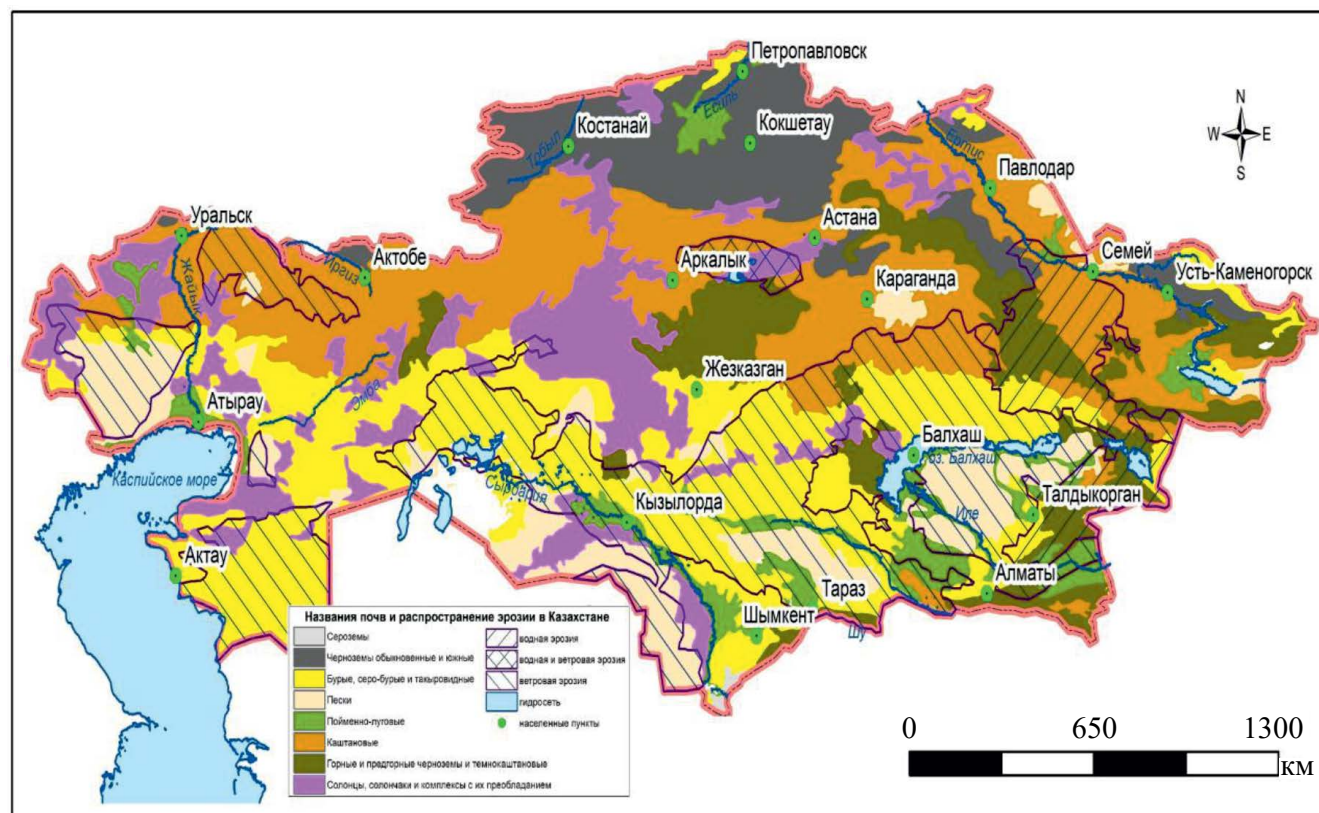


Рис. 2. Почвенная карта РК [52] и области распространения водной и ветровой эрозии (на основе данных из Национального Атласа РК [20]).

Учитывая климатические условия РК, многие реки, а также часть водоемов частично или полностью пересыхают в теплое время года, и в этой связи на пересохших участках русел рек донные отложения с повышенным содержанием различных загрязняющих веществ могут легко переноситься на близлежащие территории благодаря ветровой эрозии, также загрязняя местные почвы. Сопоставление имеющихся сведений о разных видах загрязнения почв РК и развития процессов водной эрозии по различным речным бассейнам позволяет судить о вероятном вторичном загрязнении почв, формирующихся на участках аккумуляции наносов (например, днища сухих долин и поймы рек), а также других почв, расположенных на незначительном удалении от водных объектов. Крайне неблагоприятная ситуация в пределах РК сложилась в бассейне р. Иртыш, где наблюдается сочетание высоких уровней загрязнения почв, связанных с различными видами антропогенной деятельности, и одновременно достаточно значимые темпы проявления водной и ветровой эрозии почв. Имеющиеся сведения о загрязнении р. Иртыш на отдельных участках указывают на поступление загрязненных наносов с площади водосбора в реки бассейна [6]. Необходимы детальные полевые исследования для выявления степени загрязнения поймы р. Иртыш и ряда ее притоков на всем их протяжении внутри РК, а также далее уже на территории РФ. Следует также учитывать, что имеющиеся оценки о темпах водной эрозии почв базируются в основном на расчетах по эрозионным моделям. Требуется проведение полевых исследований с использованием набора методов для верификации данных о среднемоментных темпах эрозии, полученных на основе применения эрозионных моделей [51]. Одновременно на части бассейна р. Иртыш, расположенной в Павлодарской области, активно протекают процессы ветровой эрозии (табл. 2), что позволяет предположить значительное поступление переносимых ветром почвенных частиц в постоянные водотоки.

Повышенный уровень загрязнения донных отложений реки Шу радионуклидами природного происхождения [70] требует незамедлительного изучения уровней загрязнения аллювиальных почв поймы реки, особенно на участках, где они используются для сельскохозяйственной деятельности. Загрязнения в данном бассейне, а также в бассейнах рек Сырдарья и Или связаны в большей мере с загрязнением, обусловленным влиянием размывом хвостохранилищ месторождений по добыче урана, а также аномально высоким техногенным загрязнением почв городских территорий городов Алматы и Шымкента. Влияние водно-эрозионных процессов на латеральную миграцию загрязняющих веществ в остальных речных бассейнах РК, исходя из имеющихся данных, менее значимо, хотя можно предположить формирование локальных участков

вторичного радиоактивного загрязнения в казахстанской части бассейна р. Урал. При этом крайне недостаточно детальной информации об интенсивности ветровой и водной эрозии, в первую очередь, в регионах РК, где имеются ореолы с повышенными уровнями загрязнения почв. Для решения проблем вторичного загрязнения почв РК необходимо использовать бассейновый подход, который позволяет учитывать пути латеральной миграции загрязняющих веществ переносимых совместно с наносами, выявлять участки интенсивной аккумуляции загрязненных наносов и на основе полученных результатов планировать почвозащитные мероприятия. Актуальность данной проблемы имеет международное значение, так как ряд крупных речных бассейнов одновременно затрагивает территории РК и РФ.

Особенностью территории РК являются обширные замкнутые локальные понижения, в пределах которых существуют водосборы постоянных и временных водотоков. Специфичность строения рельефа данных территорий предполагает переотложение внутри них всех перемещаемых наносов и транспортируемых совместно с ними загрязняющих веществ, что является удобным природным полигоном для детального изучения латеральной миграции загрязняющих веществ. Но на данный момент подобные исследования в РК не проводились.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почвы РК в гораздо большей степени загрязнены в пределах индустриально развитых восточных и северо-восточных регионов страны. При этом на западе РК загрязнение почв связано в основном с нефтяным загрязнением. Почвы центральной части РК в меньшей степени подвержены загрязнению. Исходя из имеющихся данных в наибольшей степени загрязнение почв, связанное с различными видами деятельности человека, наблюдается в бассейне р. Иртыш. Высокие уровни загрязнения почв бассейна подтверждаются и выявленным повышенным загрязнением донных отложений р. Иртыш, что указывает на активную латеральную миграцию загрязнителей совместно с наносами, обусловленную развитием водной эрозии почв на данной территории. Бассейн р. Иртыш нуждается в комплексном полевом исследовании загрязнения почв, а также изучении темпов эрозионных процессов и перераспределения наносов в различных звеньях флювиальной сети. Также необходим комплекс детальных исследований аллювиальных почв в днищах долин рек Шу и Сырдарья, где весьма вероятно формирование очагов вторичного радиоактивного загрязнения. К числу достаточно сильно загрязненных относится и днище долины р. Урал, но так как источниками загрязнения являются в

том числе предприятия, расположенные на территории РФ, данная проблема не рассматривалась в статье, так как она относится, наряду с рядом других, к трансграничному переносу – отдельной большой проблеме, требующей самостоятельного детального обсуждения. Имеющиеся данные о современных темпах и распространении водной эрозии в РК базируются на расчетных данных, полученных при использовании широко известных эмпирических моделей. Для понимания достоверности этих расчетов необходимы исследования по количественной оценке смыва почвы на основе независимых полевых методов. Количественная оценка темпов ветровой эрозии в полевых условиях особенно актуальна для регионов с засушливым климатом и повышенными уровнями загрязнения почв, расположенных на юго-востоке РК, так как перенос загрязненных частиц ветром напрямую сказывается на здоровье людей. Проведение полевых исследований для оценки перераспределения загрязненных наносов в пределах речных бассейнов РК с высокими уровнями загрязнения почв необходимо для выявления ореолов вторичного загрязнения, прежде всего, аллювиальных почв днищ речных долин.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания НИЛ ЭПиРП географического факультета МГУ (проект № 121051100166-4), программы целевого финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2023–2025 гг. (грант № BR21882415).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Онлайн-версия содержит дополнительные материалы, доступные по адресу <https://doi.org/10.31857/S0032180X25010101>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айдарханова А.К., Ларионова Н.В., Мамырбаева А.С., Светачева Ю.В., Кумисханова С.Б. Современные уровни радионуклидного загрязнения природных озер территории Семипалатинского испытательного полигона // Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и агроэкологии. 2019. С. 114–117.
2. Апсаликов К.Н., Белихина Т.И., Пивина Л.М., Жунусова Т., Мулдагалиев Т.Ж., Липихина А.В. Изучение состояния здоровья населения Казахстана, подвергшегося облучению в результате испытаний ядерного оружия, на основе идентификации случаев заболеваний и смерти // Наука и здравоохранение. 2014. №. 1. С. 42–44.
3. Атлас радиоактивного загрязнения европейской части России, Белоруссии и Украины / Под ред. Израэля Ю.А. М.: ИГКЭ Росгидромета и РАН, Роскартография, 1998. 143 с.
4. Балтабаев А., Тилеуберди Е., Онгарбаев Е.К., Мансуров З.А. Уран – перспективы сырьевого обеспечения атомной энергии // News of Kazakhstan Science/Novosti nauki Kazakhstan. 2018. Т. 2018. № 1. 68–84.
5. Борьба с эрозией почв. Международное агентство по атомной энергии. <https://www.iaea.org/ru/temu/borba-s-eroziey-pochv>.
6. Винокуров Ю.И., Чибилев А.А., Красноярова Б.А., Павлейчик В.М., Платонова С.Г., Сивохин Ж.Т. Региональные экологические проблемы в трансграничных бассейнах рек Урал и Иртыш // Известия РАН. Сер. географическая. 2010. № 3. С. 95–104.
7. Гендугув В.М., Глазунов Г.П. Ветровая эрозия почвы и запыление воздуха. М.: Физмалит, 2007. 240 с.
8. Глушко А.Я. Влияние водной и ветровой эрозии на земельный фонд юга европейской части России // Известия Дагестанского гос. пед. Ун-та. Естественные и точные науки. 2010. №. 1. С. 75–85.
9. Голосов В.Н., Куксина Л.В., Иванов М.М., Фролова Н.Л., Иванова Н.Н., Беляев В.Р. Оценка перераспределения ¹³⁷Cs в пойменных отложениях реки Упы (Тюльская область) после аварии на Чернобыльской АЭС // Известия РАН. Сер. географическая. 2020. № 1. С. 67–79.
10. Гребенева О.В., Сакиев К.З., Отарбаева М.Б., Жанбасинова Н.М. Проблемы загрязнения почвы твердыми отходами промышленных предприятий в Казахстане // Медицина труда и промышленная экология. 2014. №. 8. С. 9–13.
11. Дубасов Ю.В., Пахомов С.А., Шагин Б.О. Радиационная обстановка вокруг Семипалатинского полигона и прилегающих поселках // Вестник НЯЦ РК. 2003. №. 3. С. 23–28.
12. Замотаев И.В., Иванов И.В., Михеев П.В., Белобров В.П. Трансформация и загрязнение почв в районах добычи железных руд (обзор литературы) // Почвоведение. 2017. № 3. С. 374–384.
13. Ибраева Д.С. Радиационный риск для критических групп населения, проживающих вблизи хвостохранилища радиоактивных отходов. Астана, 2022. <https://nauka.kz/page.php>

14. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2023 год. Астана, 2024. 59 с.
15. Ишамятова И.Х., Тараканов О.В., Чурсин А.И. Влияние эрозионных процессов на структуру и качество земельного фонда. Факторы развития эрозии // *Int. Agricult. J.* 2022. № 4. С. 1558–1574.
16. Кадыржанов К.К., Тулеушев А.Ж., Лукашенко С.Н., Солодухин В.П., Казачевский И.В., Резников С.В., Позняк В.Л. Особенности радионуклидного загрязнения территории объектов “Лиры” // *Вестник НЯЦ РК.* 2002. Вып. 3. С. 6–10.
17. Козловский В.А., Элрбеков Г.К., Позднякова А.П., Бариева Б.Ш., Жустбеков У.Ж., Кадырбеков К.А. Р.И.А. Гигиеническое нормирование некоторых продуктов химической трансформации несимметричного диметилгидразина в почве // *Вестник АГИУВ.* 2014. 4. С. 17–23.
18. Матвеева И.В. Поведение радионуклидов семейств урана и тория в экосистеме долины реки Шу. Дис. ... докт. философии. Алматы, 2013.
19. Молдаши Д.Н., Асанов Н.С. Минерально-сырьевая база урана СНГ и Украины // *Геология и охрана недр.* 2021. №. 1. С. 40–46.
20. Национальный атлас Республики Казахстан. Т. 3. Окружающая среда и экология. Алматы, 2010. 158 с.
21. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2022 год (НДСОС) // Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан, 2023. 548 с.
22. Нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ, вредных организмов и других биологических веществ, загрязняющих почву // Совместный приказ МЗО РК от 30.01.2004 г. № 99 и МООС РК от 27.01.2004 г. Астана, 2004. № 21–П.
23. Об утверждении Гигиенических нормативов к безопасности среды обитания // Приказ МЗО РК от 21.04.2021, № КР ДСМ –32. Зарегистрирован в МЮ РК 22 апреля 2021 года № 22595.
24. Паницкий А.В., Лукашенко С.Н., Магашева Р.Ю. особенности вертикального распределения радионуклидов в почвах условно-чистой территории бывшего семипалатинского испытательного полигона // *Радиационная Биология. Радиоэкология.* 2016. Т. 56. С. 623–638. <https://doi.org/10.7868/s0869803116050131>
25. Рамазанова П.А., Абдуллаев М.Ш., Рабаданов Г.А., Хибиев Х.С., Абакаров Г.М., Гаджимурадова Г.Р. Исследование химического состава казахстанской нефти и ее очистка от тяжелых металлов // *Вестник Дагестанского гос. ун-та.* 2014. Т. 1. № 1. С. 425–430.
26. Сборник сведений о состоянии и использовании земель в федеральных округах Российской Федерации в 2006 году. М.: Федеральное агентство кадастра объектов недвижимости, 2007.
27. Шкаева И.Е., Радилов А.С., Дулов С.А., Николаев А.И., Кузнецова Т.А., Никулина О.С., Хрусталева В.С., Антонов Ю.П., Барышева О.В. Обоснование гигиенического стандарта безопасности (ПДК) несимметричного диметилгидразина в почве // *Мир науки, культуры, образования.* 2010. № 5. С. 267–271.
28. Шынбергенов Е.А., Голосов В.Н. Водная и ветровая эрозия на целинных землях в период глобальных изменений климата // *Аграрный сектор.* 2023. Т. 57. № 3. С. 86–89.
29. Abdibattayeva M., Su Xintai, Almatova B., Umbetbekov A., Satarbayeva A., Asanova G. Soil degradation due to pollution by oil and oil products and the development of a way to prevent them // *Eurasian J. Ecology.* 2019. Т. 59. Р. 24–38.
30. Ageeva T.I., Tuleushev A.Zh., Marabaev Zh.N., Lukashenko S.N., Reznikov S.V., Novozenko V.A., Borisenko A.N. Influence of the Lira Facilities on The Radiation Conditions of the Adjacent Territories: Results of the Four-Year Monitoring // *Environmental Protection Against Radioactive Pollution. NATO Science Series.* 2003. V. 33. P. 79–80. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0975-1_12
31. Aiman N., Gulnaz S., Alena M. The characteristics of pollution in the big industrial cities of Kazakhstan by the example of Almaty // *J. Environ. Health Sci. Engineer.* 2018. V. 16. P. 81–88.
32. Akhmedenov K.M., Kucherov V.S., Turganbaev T.A., Suhanberdina L.H., Tulegenova D.K. Comprehensive Environmental Assessment of Territory Influenced by the Karachaganak Oil and Gas Condensate Field in West Kazakhstan Region // *Life Sci. J.* 2014. V. 11. P. 207–212.
33. Akhmetov L.I., Puntus I.F., Narmanova R.A., Appazov N.O., Funtikova T.V., Regepova A.A., Filonov A.E. Recent Advances in creating biopreparations to fight oil spills in soil ecosystems in sharply continental climate of Republic of Kazakhstan // *Processes.* 2022. V. 10. P. 549. <https://doi.org/10.3390/pr10030549>
34. Alimbaev T.A., Mazhitova Zh.S., Omarova B.K., Nurkina Zh.B. Environmental problems in the Kazakhstan coal industry and their solutions // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.* 2019. V. 663. № 012041. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/663/1/012041>
35. Almagambetov N., Grigoruk V. Degradation of soil in Kazakhstan: problems and challenges // *Soil Chemical Pollution, Risk Assessment, Remediation and Security. NATO Science for Peace and Security Series.* Dordrecht. Springer, 2008. P. 309–320. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8257-3_27
36. Arbuzov S.I., Volostnov A.V., Rikhvanov L.P., Mezhibor A.M., Ilenok S.S. Geochemistry of Radioactive

- Elements (U, Th) in Coal and Peat of Northern Asia (Siberia, Russian Far East, Kazakhstan, and Mongolia) // *Int. J. Coal Geol.* 2011. 86. 318–328.
<https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.03.005>
37. Askarova D.A., Glebov V.V. Level of industrial pollution by heavy metals of soils of the Republic of Kazakhstan and the Caspian region // *Современные подходы и методы в защите растений: Матер. всерос. науч.-пр. конф.*, 2018. С. 178–179.
 38. Baklanova Y.V., Umarov M.A., Dyuisembaeva M.T., Lukashenko S.N. ⁹⁰Sr/¹³⁷Cs Ratios in Soil of Epicentral Zones of “Experimental Field” Testing Site of Semipalatinsk Test Site // *J. Environ. Radioact.* 2020. V. 213. P. 106103.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106103>
 39. Bakytzhanova B.N., Kopylov I.S., Dal L.I., Satekov T.T. Geoecology of Kazakhstan: zoning, environmental status and measures for environment protection // *Eur. J. Natural History.* 2016. V. 4. P. 17–21.
 40. Baubekova A., Akindykova A., Mamirova A., Dumat C., Jurjanž S. Evaluation of environmental contamination by toxic trace elements in Kazakhstan based on reviews of available scientific data. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2021. V. 28. P. 43315–43328.
<https://doi.org/10.1007/s11356-021-14979-z>
 41. Carlsen L., Kenesova O.A., Batyrbekova S.E. A preliminary assessment of the potential environmental and human health impact of unsymmetrical dimethylhydrazine as a result of space activities // *Chemosphere.* 2007. V. 67. P. 1108–1116.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.11.046>
 42. Carlsen L., Kenessov B.N., Batyrbekova S.Y. A QSAR/QSTR Study on the Human Health Impact of the Rocket Fuel 1,1-Dimethyl Hydrazine and Its Transformation Products. Multicriteria Hazard Ranking Based on Partial Order Methodologies. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2009. V. 27. P. 415–423.
<https://doi.org/10.1016/j.etap.2009.01.005>
 43. Chen L., Zhou M., Wang J., Zhang Z., Duan C., Wang X., Fang L. A global meta-analysis of heavy metal (loid) pollution in soils near copper mines: Evaluation of pollution level and probabilistic health risks // *Sci. Total Environ.* 2022. V. 835. P. 155441.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155441>
 44. Dahl C., Kuralbayeva K. Energy and the environment in Kazakhstan // *Energy Policy.* 2001. V. 29. P. 429–440.
[https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00137-3](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00137-3)
 45. DeLonge M., Stillerman K.P. Eroding the Future How Soil Loss Threatens Farming and Our Food Supply // *Union of Concerned Scientists.* 2020.
<https://www.jstor.org/stable/resrep28410>
 46. Efremov S., Nechipurenko S., Tokmurzin D., Kaiaidarova A., Kalugin S., Tassibekov Kh. Remediation of soil contaminated by toxic rocket fuel components using modified carbon–mineral adsorbing material produced from shungite rock modified with Mn⁴⁺ and Fe³⁺ // *Environ. Technol. Innovation.* 2021. V. 24. P. 101962.
<https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101962>
 47. Evolution of ICRP Recommendations – 1977, 1990 and 2007. NEA, OECD Publishing, Paris. 2011. 117 p.
<https://www.oecd-neo.org/upload/docs/application/pdf/2019-12/6920-icrp-recommendations.pdf>
 48. Fang H. Water erosion research in China: a review // *Hydrology and Earth System Sciences Discussions.* 2020. P. 1–53.
<https://doi.org/10.5194/hess-2020-568>
 49. Ginoux P., Prospero J.M., Gill T.E., Hsu N.C., Zhao M. Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products // *Rev. Geophysics.* 2012. V. 50. P. 1–35.
<https://doi.org/10.1029/2012RG000388>
 50. Golosov V., Konoplev A., Wakiyama Y., Ivanov M., Komissarov M. Erosion and redeposition of sediments and sediment-associated radiocesium on river floodplains (the niida river basin and the abukuma river as an example) // *Behavior of Radionuclides in the Environment III.* Singapore: Springer Singapore, 2022. P. 97–133.
https://doi.org/10.1007/978-981-16-6799-2_7
 51. Golosov V.N., Shamshurina E.N., Kolos G.I., Petel'ko A.I., Zhidkin A.P. Spatiotemporal changes in the erosion and deposition processes in a small catchment in the north of the Central Russian upland // *Eurasian Soil Science.* 2024. V. 57. P. 838–852.
 52. Harmonized World soil database (version 1.0). Rome: FAO, IIASA, ISRIC, ISS-CAS, JRC. FAO, 2008.
 53. Issanova G., Saduakhas A., Abuduwaili J., Tynybayeva K., Tanirbergenov S. Desertification and land degradation in Kazakhstan // *Вестник НАН РК.* 2020. V. 5. P. 95–102.
<https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.148>
 54. Issanova G., Saparov A., Ustemirova A. Soil degradation and desertification processes within Kazakhstan // *Ecology Urban Areas.* 2014. V. 2014. P. 429.
 55. Issayeva A., Mametova A., Baiduisenova T., Kossauova A., Zhumakhanova R., Zhumadulayeva A., Ashirbayeva S., Patashova A. The Effect of Oil Pollution of the Gray Soils on Revegetation in the South of Kazakhstan // *J. Ecological Enginee.* 2023. V. 24. No. 1.
<https://doi.org/10.12911/22998993/155997>
 56. Iztileu A., Grebeneva O., Otarbayeva M., Zhanbasinova N., Ivashina E., Duisenbekov B. Intensity of soil contamination in industrial centers of Kazakhstan // *CBU International Conference Proceedings.* 2013. V. 1. P. 374–380.
<https://doi.org/10.12955/cbup.v1.60>
 57. Junusbekov M.M., Akbasova A.D., Seidakbarova A.D., Koishiyeva G.Zh., Sainova G.A. Ecological assessment of soil contamination by heavy metals affected in the past by the lead–zinc mining and processing complex in Kentau, Kazakhstan // *Environ. Monit. Assess.* 2023. V. 195 P. 586.
<https://doi.org/10.1007/s10661-023-11189-7>

58. Kadyrzhanov K.K., Lukashenko S.N. Radioactivity in Kazakhstan. Cases and Consequences // Environmental Protection Against Radioactive Pollution. NATO Science Series. 2003. V. 33.
https://doi.org/10.1007/978-94-007-0975-1_2
59. Kadyrzhanov K., Barber D.S., Solodukhin V.P., Poznyak V.L., Kazachevskiy I.V., Knyazev B.B., Lukashenko S.N., Khazhekber S., Betsill J.D., Passell H.D. Radionuclide contamination in the Syrdarya river basin of Kazakhstan; Results of the Navruz Project // J. Radioanal. Nucl. Chem. 2005. V. 263. P. 197–205.
<https://doi.org/10.1007/s10967-005-0037-x>
60. Kashirsky V., Shatrov A., Zvereva I., Lukashenko S. Development of a Method for Studying $^{241}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$ Activity Ratio in the Soil of the Main Semipalatinsk Test Site Areas // J. Environ. Radioact. 2020. V. 216. P. 106181.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106181>
61. Kenessov B., Alimzhanova M., Sailaukhanuly Y., Baimatova N., Abilev M., Batyrbekova S., Carlsen L., Tulegenov A., Nauryzbayev M. Transformation products of 1,1-dimethylhydrazine and their distribution in soils of fall places of rocket carriers in Central Kazakhstan // Sci. Total Environ. 2012. V. 427. P. 78–85.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.017>
62. Khan S., M. Naushad, E.C. Lima, S. Zhang, S.M. Shaheen, J. Rinklebe Global soil pollution by toxic elements: current status and future perspectives on the risk assessment and remediation strategies – A review // J. Hazard Mater. 2021. V. 417. P. 126039.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126039>
63. Koroleva T.V., Semenov I.N., Sharapova A.V., Krechetov P.P., Lednev S.A. Ecological consequences of space rocket accidents in Kazakhstan between 1999 and 2018 // Environ. Poll. 2021. V. 268. P. 115711.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115711>
64. Krasilnikov P., Khasankhanova G., Abdullaev U., Baibagyshev E., Baliuk S., Chervan A., Fateev A., Safarli S., Saparov A. Regional status of soil pollution: Eurasia // TION. 2018. P. 17.
65. Krivitskiy P.Y., Larionova N.V., Baklanova Y.V., Aidarkhanov O., Lukashenko S.N. Characterization of Area Radioactive Contamination of Near-Surface Soil at the Sary-Uzen Site in the Semipalatinsk Test Site // J. Environ. Radioact. 2022. V. 249. P. 106893.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106893>
66. Lal R., Iivari T., Kimble J.M. Soil degradation in the United States: extent, severity, and trends. CRC Press, 2003.
67. Larionova N.V., Lukashenko S.N., Lyakhova O.N., Aidarkhanova, Kunduzbayeva A.Y., Kabdyrakova A.M., Krivitskiy P.Y., Polevik V.V., Aidarkhanov O. Transfer Parameters of Radionuclides from Soil to Plants at the Area of Craters Produced by Underground Nuclear Explosions at the Semipalatinsk Test Site // J. Environ. Radioact. 2021. V. 237. P. 106684.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106684>
68. Lednev S.A., Koroleva T. V., Semenov I.N., Klink G.V., Krechetov P.P., Sharapova A.V., Karpachevskiy A.M. The Natural Regeneration of Desert Ecosystem Vegetation at the 2013 Crash Site of a Proton-M Launch Vehicle, Republic of Kazakhstan // Ecol. Indic. 2019. V. 101. P. 603–613.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.045>
69. Li P., Feng X.B., Qiu G.L., Shang L.H., Li Z.G. Mercury pollution in Asia: a review of the contaminated sites // J. Hazardous Materials. 2009. V. 168. P. 591–601.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.031>
70. Matveyeva I., Jaćimović R., Planinšek P., Stegnar P., Smodiš B., Burkitbayev M. Assessment of the main natural radionuclides, minor and trace elements in soils and sediments of the Shu valley (near the border of Kazakhstan and Kyrgyzstan) // J. Radioanal. Nuclear Chem. 2014. V. 299. P. 1399–1409.
<https://doi.org/10.1007/s10967-013-2902-3>
71. Milyushkin A.L., Karnaeva A.E. Unsymmetrical Dimethylhydrazine Transformation Products: A Review // Sci. Total Environ. 2023. V. 891. P. 164367.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164367>
72. Mukanov Y, Chen Y, Baisholanov S, Amanambu AC, Issanova G, Abenova A, Fang G, Abayev N. Estimation of annual average soil loss using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) integrated in a Geographical Information System (GIS) of the Esil River basin (ERB), Kazakhstan // Acta Geophys. 2019. V. 67. P. 921–938.
<https://doi.org/10.1007/s11600-019-00288-0>
73. Nauryzbaev M.K., Batyrbekova S.E., Tassibekov Kh.S., Kenessov B.N., Vorozheikin A.P., Proskuryakov Y.V. Ecological Problems of Central Asia Resulting from Space Rocket Debris. In History and Society in Central and Inner Asia, Toronto Studies in Central and Inner Asia; Asian Institute, University of Toronto: Toronto, 2005. P. 327–349.
74. Pacyna J.M., Pacyna E.G. An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide // Environ. Rev. 2001. V. 9. P. 269–298.
<https://doi.org/10.1139/er-9-4-269>
75. Panitskiy A.V., Lukashenko S.N. Nature of Radioactive Contamination of Components of Ecosystems of Streamflows from Tunnels of Degelen Massif // J. Environ. Radioact. 2015. V. 144. P. 32–40.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.02.021>
76. Rakhimova M., Zulpykharov K., Assylbekova A., Zhenigissova N., Taukebayev O. Using the Revised Universal Soil Loss Equation and Global Climate Models (CMIP6) to Predict Potential Soil Erosion Associated with Climate Change in the Talas District, Kazakhstan // Sustainability. 2024. V. 16. P. 574.
<https://doi.org/10.3390/su16020574>
77. Ramazanova E., Lee S.H., Lee W. Stochastic risk assessment of urban soils contaminated by heavy met-

- als in Kazakhstan // *Sci. Total Environ.* 2021. V. 750. P. 141535.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141535>
78. *Saparov A.* Soil Resources of the Republic of Kazakhstan: current status, problems and solutions // *Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia. Environmental Science and Engineering*. Springer, 2014.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-01017-5_2
 79. *Sharapova A.V., Semenov I.N., Koroleva T.V., Krechetov P.P., Lednev S.A., Smolenkov A.D.* Snow Pollution by Nitrogen-Containing Substances as a Consequence of Rocket Launches from the Baikonur Cosmodrome // *Sci. Total Environ.* 2020. V. 709. P. 136072.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136072>
 80. *Sharma N., Singhvi R.* Effects of chemical fertilizers and pesticides on human health and environment: A review // *Int. J. Agriculture, Environ. Biotechnol.* 2017. V. 10. P. 675–680.
<https://doi.org/10.5958/2230-732X.2017.00083.3>
 81. *Shynbergenov Y., Maltsev K., Sihanova N.* GIS-technologies application for calculation of potential soil loss of Marha River basin (Republic of Saha) // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. V. 107. P. 012023.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/107/1/012023>
 82. *Subbotin S.B., Aidarkhanov A.O., Romanenko V.V., Krivitskiy P.Y., Umarov M.A., Monaenko V.N., Lyakhova O.N., Shatrov A.N., Suprunov V.I., Kitamura A.* Development of measures for limiting negative impacts of the “Atomic” lake on population and environment // *J. Environ. Radioact.* 2020. V. 223–224. P. 106389.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106389>
 83. *Suska-Malawska M., Vyrahmanova A., Ibraev, M., Poshano, M., Sulwiński, M., Toderich K., Mętrak M.* Spatial and In-Depth Distribution of Soil Salinity and Heavy Metals (Pb, Zn, Cd, Ni, Cu) in Arable Irrigated Soils in Southern Kazakhstan // *Agronomy*. 2022. V. 12. P. 1207.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12051207>
 84. *Tukenova Z., Akyzbekova T., Alimzhanova M., Ashimuly K., Saparov A.* Environmental assessment of the impact of technogenic factors on the soil mesofauna of the South-East of Kazakhstan and development bioindicative and indicative factors // *ARPJ. Engin. Appl. Sci.* 2020. V. 15. P. 2706–2712.
 85. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume I. UNSCEAR 2008: United Nations; 2010. ISBN 978-92-1-142274-0.
 86. *van Vliet L.J.P., Junkins B.B., Gill B.R., Heigh B.L.* The risk of water erosion indicator for Canada: integrating science and policy. ISCO 2004. 13th International Soil Conservation Organisation Conference – Brisbane, July 2004 Conserving Soil and Water for Society: Sharing Solutions.
 87. World Uranium Mining Production (Updated April 2024) World Nuclear Association <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production.aspx>
 88. *Woszczyk M., Szychalski W., Boluspaeva L.* Trace metal (Cd, Cu, Pb, Zn) fractionation in urban-industrial soils of Ust-Kamenogorsk (Oskemen), Kazakhstan—implications for the assessment of environmental quality // *Environ. Monit. Assess.* 2018. V. 190. P. 362.
<https://doi.org/10.1007/s10661-018-6733-0>
 89. *Yamamoto M., Tomita J., Sakaguchi A., Ohtsuka Y., Hoshi M., Apsalikov K.N.* Uranium Isotopes in Well Water Samples as Drinking Sources in Some Settlements around the Semipalatinsk Nuclear Test Site, Kazakhstan // *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2010. V. 284. P. 309–314.
<https://doi.org/10.1007/s10967-010-0463-2>
 90. *Yang Q., Li Z., Lu X., Duan Q., Huang L., Bi J.* A review of soil heavy metal pollution from industrial and agricultural regions in China: pollution and risk assessment // *Sci. Total Environ.* 2018. V. 642. P. 690–700.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.068>
 91. *Zhailaubai Z., Yurevna S., Dazzi C., Lo Papa G., Toktar M.* Resistance of solonchic soils to rocket and space activity impact in central Kazakhstan // *Book of Abstracts. IT*, 2018.
 92. *Zhang Q., Wang C.* Natural and human factors affect the distribution of soil heavy metal pollution: a review // *Water Air Soil Pollut.* 2020. V. 231. P. 1–13.
<https://doi.org/10.1007/s11270-020-04728-2>
 93. *Zhanibekov A., Issayeva R., Golovaty S., Taspoltayeva A., Aitimbetova A., Nurtayeva A. et al.* Assessment of Soil Contamination by Heavy Metals: A Case of Turkistan Region // *Polish J. Environ. Studies*. 2022. V. 31. P. 1985–1993.
<https://doi.org/10.15244/pjoes/142613>
 94. *Zholdassov O.E., Yelikbayev B.K., Umbetaliyev N.A., Erol O.* The level of soil contamination with heavy metals in Almaty, Kazakhstan // *Ecol. Environ. Conserv.* 2016. V. 3. P. 1523–1527.
 95. *Zhyrgalova A., Yelemessova S., Ablakhana B., Aitkhodzhaeva G., Zhildikbayeva A.* Assessment of potential ecological risk of heavy metal contamination of agricultural soils in Kazakhstan // *Brazilian J. Biol.* 2024. V. 84. P. 1–9.
<https://doi.org/10.1590/1519-6984.280583>

Assessment of Soil Pollution and Erosion Processes in the Republic of Kazakhstan According to Literary Data

T. A. Paramonova^{a, b}, Y. A. Shynbergenov^{a, c, *}, D. V. Botavin^a, and V. N. Golosov^{a, d}

^aLomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia

^bIzrael Institute of Global Climate and Ecology, Moscow, 107258 Russia

^cKorkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, 120014 Kazakhstan

^dKazan Federal University, Kazan, 420008 Russia

**e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru*

The purpose of the analytical review is to systematize data on the level of soil pollution and the rate of erosion processes in the Republic of Kazakhstan (RK) and to identify the river basins of the RK where the likelihood of secondary soil pollution is greatest due to the lateral migration of pollutants transported together with sediments. Using the search engines Google Scholar, Springer Link, Science Direct, Scopus and RSCI, publications on soil pollution with heavy metals (HM), radionuclides of technogenic and natural origin, oil and petroleum products and rocket fuel components, as well as characterizing the rates of water and wind erosion were collected and the degree of soil erosion in the RK. Based on the collected data, thematic maps of the RK were compiled, which depict territories with increased relative to background concentrations of pollutants in soils within large river basins. Based on a comparison of maps of soil pollution and maps of water and wind erosion rates for the river basins were identified within which the probability of secondary soil pollution is highest due to the transfer of contaminated soil particles by water-erosion processes, as well as their local transfer during wind erosion. It has been established that the most intense processes of secondary pollution, primarily of alluvial soils, can occur in the basins of the Irtysh and Shu Rivers. It should be taken into account that existing estimates of water erosion rates are based on calculations using erosion models, while estimates of wind erosion rates are based on semi-quantitative data. In this regard, research is needed to verify calculations using erosion models based on field data.

Keywords: environmental assessment, soil degradation, heavy metals, radionuclides, petroleum products, water and wind erosion of soils, river basin