

ДЕГРАДАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 502(571.53)

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА¹

© 2022 г. И. А. Белозерцева^а, *, И. Б. Воробьева^а, А. А. Сороковой^а, Д. Н. Лопатина^а

^аИнститут географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Улан-Баторская, 1, Иркутск, 664033 Россия

*e-mail: belozia@mail.ru

Поступила в редакцию 26.03.2021 г.

После доработки 05.06.2021 г.

Принята к публикации 30.06.2021 г.

Дана сравнительная оценка степени загрязнения почв различных городов урбанизированных центров Байкальского региона. Объектом явились статистические материалы, картографические произведения и данные почвенно-геохимических исследований, проведенных авторами в 2012–2019 гг. в центральных городах Иркутской области, Республики Бурятия, Монголии (гг. Иркутск, Улан-Удэ, Улан-Батор и др.) и на прилегающих территориях. Выявлено, что наиболее загрязненными являются почвы г. Иркутск (с показателем суммарного загрязнения исследованных элементов Zс от 4 до 63), вследствие наличия большой техногенной нагрузки и относительно высокой сорбционной способности почв. Основные источники загрязнения — предприятия нефтехимической и металлургической промышленности, ТЭЦ, котельные и автотранспорт. Повышенные содержания токсических веществ в почвах, превышающие фон, выявлены по направлению преобладающих ветров вдоль долины р. Ангара. Наименьшее загрязнение почв зафиксировано в г. Улан-Батор (Zс от 2 до 23) несмотря на высокую антропогенную нагрузку (с самой большой численностью населения и объемом выбросов теплоэнергетического комплекса, автотранспорта, транспортных, ремонтных и других предприятий), так как почвы имеют легкий гранулометрический состав. Благодаря ливневым осадкам во второй половине лета загрязняющие вещества мигрируют в поверхностные и грунтовые воды. Почвы г. Улан-Удэ имеют показатель суммарного загрязнения Zс от 5 до 24, что варьирует от среднего до низкого уровня. Загрязнение локального характера вблизи ТЭЦ, котельных, промышленных предприятий, автомобильного и железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: почвенный покров, техногенез, урбанизация, загрязнение, юг Восточной Сибири

DOI: 10.31857/S0032180X22010038

ВВЕДЕНИЕ

Ландшафтно-геохимические методы и подходы оценки степени загрязнения почв рассмотрены в трудах Глазовской [13], Перельмана, Касимова [31] и других исследователей. Почвы промышленных и урбанизированных центров Сибири, и России в целом хорошо изучены. Почвенно-геохимические работы проведены в Москве [9, 21], Новосибирске [3], Омске [37], Томске [19], Норильске [20], Красноярске [35], Братске [17] и других городах. В последнее время внимание ученых привлекает бассейн оз. Байкал. Однако осталось еще много нерешенных вопросов (например, вклад различных антропогенных источников городских агломераций в загрязнение основных компонентов ландшафтов прилегающих территорий), так как уровень урбанизации, объем промышленного

производства и экологическая обстановка стремительно трансформируются. Изменяются климатические условия рассеивания и миграции загрязняющих элементов.

Цель работы — сравнительная оценка загрязнения почв центральных городов Иркутской области, Республики Бурятия и Монголии (на примере гг. Иркутск, Улан-Удэ и Улан-Батор).

Иркутск — старинный город, крупный промышленный и культурный центр, столица Иркутской области Российской Федерации с населением около 620 тыс. человек. Темпы роста численности населения города небольшие, за последние 10 лет зафиксировано его увеличение на 30 тыс. человек [13]. Иркутская агломерация включает в себя города Иркутск, Ангарск, Шелехов и ближайшие населенные пункты. В радиусе 20 км от г. Иркутск, около городов Шелехов и Ангарск находятся предприятия алюминиевой, нефтехимической и химической промышленности. Города Иркутск, Ангарск, Шелехов, Усолье-Сибирское, Свирск и

¹ Дополнительная информация для этой статьи доступна по doi 10.31857/S0032180X22010038 для авторизованных пользователей.

другие образуют Иркутскую агломерацию, выбросы которой формируют единый урбанизированный ареал. Немаловажное значение в загрязнении окружающей среды имеют производство стройматериалов, лесная, легкая и пищевая промышленность. В 90-х годах некоторые заводы закрылись. Однако в последнее время нарастают темпы производства некоторых отраслей промышленности. Например, объемы производства алюминия на Иркутском алюминиевом заводе со времен “перестройки” увеличились более чем в 2 раза. В самом Иркутске промышленность представлена тяжелым машиностроением, переработкой сельскохозяйственного сырья, ремонтом средств транспорта, швейным, трикотажным производством, производством строительных материалов и др. В Иркутске зарегистрировано более 200 тыс. единиц автотранспорта. Энергетическая база – Иркутская ГЭС. Тепловая энергия производится на 5 ТЭЦ и более 200 котельных, работающих в основном на каменном угле. В атмосферу Иркутска поступает более 80 тыс. т/год загрязняющих веществ (пыли, оксида азота, формальдегида, оксида углерода, диоксида азота, диоксида серы, углеводородов, аммиака, ксилола, толуола, бензина, ацетона, керосина и др.) [18]. По результатам снегогеохимической съемки выявлено, что с техногенной пылью через атмосферу на почвенный покров поступают тяжелые металлы (ТМ) [28, 40]. За последние 10 лет объемы выбросов увеличились на 18%. Выбросы в атмосферу г. Шелехов составляют около 50 тыс. т, г. Усолье-Сибирское – более 80 тыс. т/год [29]. Зоны загрязнения городов, расположенных вблизи друг друга, перекрываются и образуют единый ареал. Например, повышенные содержания фтора в почве, свойственные для зоны загрязнения от алюминиевой промышленности, предприятие которого расположено около г. Шелехов, зафиксированы в жилых районах г. Иркутск. Таким образом, техногенные выбросы из промышленной зоны влияют на загрязнение почв жилых и рекреационных районов. Некоторые промышленные предприятия расположены в черте города вблизи спальных районов и сельскохозяйственных угодий.

Сточные воды предприятий оказывают негативное воздействие главным образом на экологическое состояние поверхностных вод. Однако благодаря исходному низкому содержанию химических элементов в воде р. Ангара, которая вытекает из оз. Байкал, поверхностные воды г. Иркутск обладают низкими показателями загрязнения (по сравнению с водами рек Селенга и Туул) [16, 18, 40, 43].

Город Улан-Удэ – культурный и промышленный центр, столица Республики Бурятия Российской Федерации с населением около 430 тыс. человек. Численность населения города за последние 10 лет возросла на 62 тыс. человек [13]. Основные источники загрязнения: Улан-Удэнская ТЭЦ,

авиационный и стекольный завод и предприятия ПО “Бурятстройматериалы”. Разработка месторождений строительных материалов сопровождается массовыми взрывами, отгрузкой на транспортные средства, дроблением каменного материала на щебень и песок, устройством отвалов. В городе имеется 162 котельные, зарегистрировано более 80 тыс. единиц автотранспорта. В атмосферу города поступает около 60 тыс. т/год загрязняющих веществ (пыли (взвешенных веществ), диоксида серы, диоксида азота, окиси углерода, формальдегида, фенола, бенз(а)пирена и др. [16, 29].

Улан-Батор – административный, экономический и культурный центр страны, столица Монголии с населением более 1 млн человек, что составляет 46% всего населения страны. Численность населения столицы возрастает на 100 тыс. человек в год. В “юртовой” зоне проживает около 60% населения города [48]. Частные дома и юрты отапливаются преимущественно бурым углем. Развита металлообрабатывающая, деревообрабатывающая, домостроительная и пищевая промышленность, промкомбинат переработки животного сырья, завод автоприцепов, мясокомбинат. Количество автотранспорта в городе составляет около 500 тыс. единиц. Энергетический комплекс представлен тремя крупными ТЭЦ и многочисленными котельными, работающими на буром угле, который добывают на прилегающей к городу территории [25, 42]. Ухудшают экологическую ситуацию города его пригородная частная и “юртовая” зона с печным отоплением. Объемы выбросов в атмосферу составляют более 100 тыс. т/год (взвешенные частицы мелких фракций (пыль), сажа, диоксид серы, диоксид азота и др., превышающие ПДК в десятки раз). За последние 10 лет данный показатель вырос на 50% [45, 48].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Методы исследований. В 2012–2014, 2017–2019 гг. проведены почвенно-геохимические исследования в городах Иркутск, Улан-Удэ, Улан-Батор и на прилегающих территориях. Всего отобрано более 150 образцов почв. Пробы отбирали на различном удалении от источников загрязнения (промышленных предприятий, ТЭЦ, котельных, автомобильных и железных дорог, городских и промышленных свалок) с учетом преобладающих ветров, а также на фоновой территории (в 50–70 км по направлению к оз. Байкал). Ключевые участки заложения почвенных разрезов и отбора проб на территории Иркутска, Улан-Удэ и Улан-Батора с местоположением, координатами, функциональными зонами (промышленной, жилой – многоэтажной и частной застройкой, рекреационной) приведены на рис. S1 и в табл. S1. Почвенные образцы отобраны со всех горизонтов на глубину почвенного профиля. Из горизонтов мощностью

более 20 см отбирали несколько образцов. Химические анализы почв выполнены по стандартным методикам на современном высокотехнологичном оборудовании в Химико-аналитическом центре ИГ СО РАН [1, 2, 36]. Концентрации макро- и микроэлементов в почве установлены атомно-эмиссионным спектральным методом (Optima 2000 DV). Содержание фтора измеряли на иономере. Из определяемых химических элементов к первому классу опасности относятся F, Pb, Cd, Zn, As; ко второму – Cr, Cu, Co, Ni; к третьему – Mn, Ba, Sr, V.

Сотрудниками различных научных организаций (ИГ МАН, МГУ, ИГ СО РАН, ИОЭБ СО РАН, ИГХ СО РАН, БИП СО РАН, БГУ, ИГУ) проведены некоторые исследования по загрязнению почв Иркутска, Улан-Удэ, Улан-Батора и других ключевых районов Байкальской Сибири [8, 12, 16, 22–25, 28, 34, 38]. Однако некоторые вопросы по загрязнению основных компонентов ландшафтов остаются актуальными, имеют дискуссионный характер и требуют дополнительных исследований. Например, вклад различных источников в загрязнение территории городов при близком их расположении, дальность переноса поллютантов и ареал распространения загрязнения, вероятность миграции токсических веществ в грунтовые воды и оз. Байкал. Кроме того, экологическая ситуация в городах трансформируется, так как меняется мощность промышленных предприятий и экологические условия. После спада промышленного производства на территории России в 1990-х годах, в последнее десятилетие наблюдается его подъем. Некоторые предприятия закрылись, но другие открылись. Мощность производства предприятий алюминиевой и нефтехимической промышленности возросла. Интенсивная антропогенная нагрузка на природные компоненты Байкальского региона создает критические экологические ситуации в крупных населенных пунктах.

Условия рассеивания и миграции техногенных выбросов. Иркутск расположен в долине р. Ангара и ее притоков (420–550 м над ур. м.), в 70 км к северо-западу от оз. Байкал. Над территорией Иркутской агломерации зимой наблюдается большая повторяемость штилей, которые определяют низкую способность атмосферы рассеивать техногенные выбросы. Ухудшают способность атмосферы к самоочищению туманы (до 85 дней), слабая ветровая активность (в среднем 1–3 м/с). Строение рельефа обуславливает вероятность переноса загрязняющих веществ в летнее время года по долине р. Ангара в оз. Байкал. Годовое количество выпадающих осадков может достигать до 800 мм, при среднем его показателе – 470 мм [4, 40].

Почвообразующие и подстилающие породы на территории города и пригорода сложены аллюви-

ем, делювием, пролювием, элювием, доломитами, карбонатными и кремнистыми брекчиями, аргиллитами, алевролитами, песчаниками (черемховская угленосная свита) [4]. Естественная растительность пригорода и некоторых парков в основном представлена восстановительными серыми смешанных лесов, луговыми, лугово-болотными и лугово-степными ассоциациями.

Город Улан-Удэ расположен в 100 км к юго-востоку от оз. Байкал в долине рек Уда и Селенга (520–540 м над ур. м.). Формирование на территории высокого уровня загрязнения атмосферы определено промышленными выбросами предприятий и автотранспорта, а также наличием в холодное время года длительных периодов с неблагоприятными условиями для рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере. Среднее годовое количество осадков колеблется в пределах 260–340 мм. Мало осадков выпадает в мае и июне, больше в июле и августе. В этот период наблюдаются сильные ливневые дожди. В течение трех дней может выпасть месячная норма осадков, что создает селевую опасность [16, 40]. Почвообразующие и подстилающие породы в основном легкого гранулометрического состава, представлены аллювиальными, делювиальными, делювиально-пролювиальными отложениями, конгломератами, песчаниками, алевролитами, гранитами с низким содержанием макро- и микроэлементов [16]. Естественная растительность и почвы в городе в основном уничтожены. На прилегающей к городу территории и в парках встречаются светлохвойные леса, луговые, луговостепные и степные ассоциации.

Город Улан-Батор расположен в долине р. Туул (1284–1300 м над ур. м.). В зимнее время года, в период отопительного сезона, в городе и пригороде из-за высокого уровня антропогенной нагрузки и низкой способности самоочищения атмосферы в условиях антициклона создается критическая экологическая ситуация. Мощные инверсии температуры образуют задерживающий слой, распространяющийся на сотни километров и препятствующий переносу примесей в верхние слои атмосферы. Среднее годовое количество осадков 200–400 мм с максимумом во второй половине вегетационного периода. В последние годы в Улан-Баторе участились случаи схода селевых потоков, вызванных ливневыми дождями [27, 44]. В сухой период года наблюдаются процессы эрозии почв. В сухостепных районах формируются эоловые формы рельефа.

За последние 50 лет наблюдается увеличение среднегодовой температуры воздуха в Монголии на 1.4–1.7°C, в Республики Бурятия – на 1.0–1.1°C, в Иркутской области – на 0.3–0.7°C. В степных регионах уменьшается количество осадков [26, 30], что может снижать миграционную активность и увеличивать аккумуляцию хи-

мических элементов в почвах, повышая степень их загрязнения. Однако учащение ливневого характера осадков во второй половине лета может увеличивать загрязнение грунтовых вод. Водоснабжение г. Улан-Батора осуществляется за счет подземных вод из-за дефицита поверхностных вод. Кроме того, вода р. Туул, протекающей по территории города, мутная с повышенным содержанием химических элементов [43, 47].

Породы в основном легкого гранулометрического состава, что может обуславливать миграцию загрязняющих веществ в грунтовые воды. Они сложены аллювиальными отложениями, архейскими гранитами, каменноугольными метаморфическими глинистыми сланцами, часто содержащими легкорастворимые соли и гипс, пески и конгломераты. Встречаются неогеновые пестроцветные глины с повышенной концентрацией железа и элементов его группы [40]. Естественная растительность прилегающей территории к городу представлена луговыми и сухими степями, которая в жилой зоне практически полностью уничтожена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Физико-химические свойства почв. Физико-химические свойства естественных и антропогенно-нарушенных почв обуславливают интенсивность миграции и аккумуляции загрязняющих веществ. Согласно почвенно-географическому районированию территории [5, 38] и опубликованным картам [4, 27, 40], район г. Иркутск входит в равнинную провинцию, высоко-, средне- и низковысотных плато Иркутского амфитеатра Иркутско-Черемховского и Канско-Рыбинского округа равнин с распространением дерново-подзолистых, подзолисто-глеевых, гумусово-гидроморфических, перегнойно-гидроморфических, торфяных эутрофных почв, черноземов, серых и темногумусовых почв. Почвы с перегнойными и торфянистыми горизонтами, а также с повышенным содержанием фракции физической глины, которые встречаются в пониженных элементах рельефа и северных районах города, могут аккумулировать загрязняющие вещества и препятствовать дальнейшей их миграции в ландшафте, что положительно сказывается на химическом составе поверхностных и грунтовых вод г. Иркутск (по сравнению с г. Улан-Батор) [40, 45, 47].

Территория г. Улан-Удэ находится в Хамардабано-Южнобайкальской средне-горно-таежной, лесостепной и горно-котловинно-степной провинции, в горно-долинном Удинско-Хилокском округе дерново-подбуров, подбуров, буроземов грубогумусовых, аллювиальных, черноземов, серогумусовых, светлогумусовых, черноземов квазиглеевых, каштановых и комплекса засоленных почв [5, 39]. Суглинистые и карбонатные почвы

сухостепных районов могут аккумулировать загрязняющие вещества.

Город Улан-Батор входит в Хэнтэйскую высоко-, средне-, низкогорную, горно-долинную провинцию высоко- и среднегорный Северо-Хэнтэйского округа дерново-подбуров, криоземов, торфяно-криоземов, подбуров, дерново-подбуров с литоземами грубогумусовыми, торфяно-литоземами, петроземами, темногумусовыми, каштановыми, черноземами дисперсно-карбонатными [5, 39]. Малая мощность, высокая степень щебнистости и каменности, легкий гранулометрический состав почв предполагают вероятность миграции загрязняющих веществ в грунтовые воды. Геохимическим барьером на пути миграции химических элементов могут быть карбонатный горизонт, многолетняя и сезонная мерзлота. Однако миграция загрязняющих веществ может быть не интенсивной из-за небольшого количества осадков и выходов на поверхность суглинистых пород.

В приложении S1 приведено морфологическое описание почв некоторых ключевых площадок, отражающих распространенные типы почв для урбанизированных центральных городов и их окружения в Иркутской области, Бурятии и Монголии (на примере гг. Иркутск, Улан-Удэ, Улан-Батор).

По результатам проведенных полевых исследований и опубликованных материалов [7, 10, 11] выявлено, что в центральной части территории г. Иркутск в основном распространены глубоко-преобразованные почвы с погребенными естественными и культурными горизонтами (урбоземы, культуроземы, урбокультуроземы и т. д.). В пригороде, в парках и на окраине города преобладают дерново-подзолистые и серые, встречаются аллювиальные гумусовые, аллювиальные торфяно-глеевые и урбо-почвы (антропогенные аналоги естественных почв), которые обладают различными миграционными и сорбционными способностями.

На щелочном геохимическом барьере почв могут накапливаться F, Al, Fe, Cu, Ni; на адсорбционном — F, Ca, Mg, Pb, As; на механическом (мерзлотном) — Fe, Cr, Ni и др. Почвы с высокой адсорбционной способностью, а соответственно и повышенным содержанием физической глины, а также органического вещества, могут удерживать токсические химические элементы. Это характерно и для карбонатных почв, и почв с нейтральной реакцией среды [31].

Почвы г. Иркутск и прилегающей территории имеют разнообразный гранулометрический состав (от легкого до тяжелого суглинка) и содержание гумуса (от 5 до 14%), от слабокислой (pH 5.3) до слабощелочной (7.7) среды (табл. 1). В верхних горизонтах почв вблизи промышленных предприятий (например, алюминиевого и известкового заводов) выявлено подщелачивание (до 8.6 ед. pH), встреча-

Таблица 1. Некоторые физико-химические и химические свойства почв ключевых участков

Местоположение	Почва	Горизонт	pH водной вытяжки	Гумус	Физическая глина <0.01 мм
					%
Иркутск, Академгородок	Урбо-серая (Umbrisols)	UY	6.6	4.6	34.1
		AEL	6.5	1.4	29.0
		BEL	7.0	1.2	39.2
		BT	7.1	0.8	49.0
В 20 км от Иркутска на Ю-3, в 0.5 км от Иркутского алюми- ние- вого и известкового завода	Серая (Umbrisols)	AY	8.6	5.8	—
		AEL	5.3	2.2	24.1
		BEL	5.7	2.1	28.0
		BT	6.1	0.7	43.8
10 км от Иркутска на Ю-3	Дерново-подзолистая (Folic Retisols)	AY	6.8	7.1	—
		EL	6.5	0.9	28.1
		BEL	6.7	0.9	36.0
		BT	6.9	0.6	40.1
Иркутск, центр города	Урбанозем (Anthrosol)	C	7.1	0.3	39.7
		U	6.4	14.1	36.1
		U/C	7.0	2.1	35.9
		C	7.7	1.2	38.0
Пойма р. Селенга, пригород Улан-Удэ, сенокос, пастбище	Агроаллювиальная гумусо- вая (Fluvisols)	PYw	6.7	5.5	—
		AYC [~]	7.0	1.2	20.4
		AY ₁ [~]	7.1	6.4	20.1
		AYC ₁ [~]	7.7	1.4	27.9
Участки частных домов в Улан- Удэ	Агрочернозем (Chernozem)	C [~]	8.7	0.9	11.7
		PU	7.8	7.9	30.3
		BCA	8.0	2.0	27.0
		Cca	8.2	0.4	16.0
Улан-Удэ, центр города	Аллювиальная гумусовая (Fluvisols)	AYC [~]	6.4	7.6	18.4
		C [~]	6.8	0.5	11.4
		AYC ₁ [~]	7.1	1.7	15.7
Долина р. Селенга, пригород Улан-Удэ, пастбище	Агроаллювиальная темно- гумусовая (Fluvisols)	PU	7.6	7.0	27.6
		AUC [~]	6.4	4.1	26.2
		C	7.0	0.7	27.0
Долина р. Туул, пригород Улан- Батора, пастбище	Чернозем (Chernozem)	AU	7.2	11.9	20.4
		BCA	8.4	7.5	20.1
		Cca	9.1	0.6	19.1
Частные дома, юрты в пригороде Улан-Батора, пастбище	Аллювиальная темногуму- совая (Fluvisols)	AU	8.1	9.1	17.5
		AUCca [~]	8.3	2.7	15.4
		Cca	8.9	0.9	13.3
10 км на С-В от Улан-Батора	Каштановая (Kastanozems)	AJ	8.5	3.4	20.2
		BMK	8.7	2.1	25.1
		BM	8.2	1.8	19.8
		CAT	8.8	0.8	16.8
2 км на С-В от Улан-Батора	Аллювиальная гумусовая (Fluvisols)	AYC [~]	7.1	9.2	22.4
		C [~]	8.6	0.9	15.1
		AYC ₁ [~]	8.5	5.2	16.4
Улан-Батор, центр города	Урбанозем (Anthrosol)	U	8.5	12.2	18.4
		U/C	7.6	3.5	14.3
		C	8.9	0.6	9.7

ются включения бытового и строительного мусора). В почвах средне- и тяжелосуглинистого состава, с высоким содержанием гумуса и щелочной реакцией аккумулируется значительное количество загрязняющих элементов.

Почвы г. Улан-Удэ и пригорода в основном представлены убоземами и агроземами, а также

антропогенными аналогами аллювиальных гумусовых и темногумусовых почв, черноземов (урбо-, агро-почвами, урбоагро-почвами). Встречаются серые, серогумусовые и каштановые почвы. Верхние горизонты почв в основном от близко к нейтральной (6.7–7.6) до слабощелочной – щелочной реакции (7.6–7.8), со средним содержанием

гумуса (от 5 до 8%), часто легкого гранулометрического состава, иногда среднесуглинистого. Земли пригородной зоны активно используются как пашни и пастбища. В почвах среднесуглинистого состава вблизи промышленных предприятий, ТЭЦ, автомобильных и железнодорожных дорог, стоянок сельскохозяйственной техники выявлено загрязнение почв.

В г. Улан-Батор и пригороде в основном распространены урбоземы, культуроземы, экраноземы, каштановые, черноземы, аллювиальные гумусовые и темногумусовые почвы, а также их антропогенные аналоги (урбоаллювиальные гумусовые и др.). Они имеют нейтральную (7.1) – щелочную (9.1) реакцию, от низкого до высокого содержание гумуса (3–12%), легкий гранулометрический состав (песок – легкий суглинок). В юртовой зоне развито скотоводство, наблюдаются процессы разрушения дернового горизонта и эрозии почв. Маломощные слаборазвитые песчаные и супесчаные почвы несмотря на малое среднегодовое количество осадков могут промываться в период ливневых осадков во второй половине лета. Геохимическими барьерами на пути миграции загрязняющих веществ будут являться карбонатный и гумусовый горизонты, в которых могут накапливаться ТМ.

Загрязнение почв. Анализ полученных данных по загрязнению почв урбанизированных центров Байкальского региона показал, что наиболее загрязненными являются почвы в г. Иркутск с самым большим набором загрязняющих элементов (F, Al, Pb, Mn, Cr, Co, Ni, Ba, V, As). На втором месте по уровню загрязнения почв Pb, Co, Cu, Zn, As находится г. Улан-Удэ, на третьем – г. Улан-Батор (по содержанию Zn, Cd, Pb, Ni, Cu, As, превышающих гигиенические нормы).

Основными источниками загрязнения почв в г. Иркутске являются выбросы предприятий нефтехимической и металлургической промышленности (расположенных на прилегающей территории), объектов энергетики и автотранспорта. Направление и скорость ветра, орографическое строение территории определяют характер распространения загрязняющих веществ в городе, по долине р. Ангары. В почвах города и прилегающей территории отмечается превышение содержания F, Al, Pb, Mn, Cr, Co, Ni, Ba, V, Cd, Zn, As в 3–10 раз и более (табл. 2) по отношению к фоновому, что является следствием высокого содержания загрязняющих веществ в промышленных выбросах и накопления их в суглинистых почвах с высоким содержанием глинистых частиц и гумуса. Выявлена корреляционная зависимость между концентрацией фтора, ТМ и содержанием гумуса (сильная связь – Mn, Ba, Cu, V, Pb, Cd; средняя – F, Al, Co, Zn; слабая – Cr). Установлена корреляционная связь между концентрацией за-

грязняющих химических элементов и содержанием суммы фракций физической глины (сильная – Cr, Cu, Ni, Co; средняя – F, Al, Ba, V, Pb, Zn; слабая – Mn; очень слабая – Cd). Также наблюдается средняя корреляционная связь между реакцией почв (рНводн) и содержанием Cr, слабая связь – с F, Al, Cu, Ni, Zn (табл. 3).

Индекс суммарного загрязнения исследуемых элементов Z_c [30] для почв города и пригорода варьирует от 4 до 63, что указывает на уровень загрязнения от низкого (неопасного) до высокого (опасной категории) (рис. 1). Наибольший индекс суммарного загрязнения почв установлен для промышленной функциональной зоны города и его окрестностей (Z_c до 63). Средний (умеренно-опасный) уровень загрязнения почв характерен для зоны частной застройки (Z_c до 18). Низкий уровень загрязнения почв выявлен в зонах: многоэтажной застройки (Z_c до 14) и рекреационной (Z_c до 4).

Z_c рассчитывался по формуле $= Kc_1 + \dots + Kc_i + \dots + Kc_n - (n - 1)$, где n – число определяемых компонентов; Kc_i – коэффициент концентрации i -го загрязняющего компонента, равный кратности превышения содержания данного компонента над фоновым значением [32].

Максимальные концентрации Ni, Cr, V, Mn, Pb, Cd, Zn, As, превышающие нормы ПДК, отмечены на повышенных формах рельефа. Ареал загрязнения почв, превышающий фоновое содержание, от Иркутско-Ангарско-Шелеховского промышленного комплекса включает Иркутскую урбанизированную территорию и распространяется с юго-востока на северо-запад [28].

Для территории г. Улан-Удэ характерен очаговый характер загрязнения почвенного покрова. Наибольший объем выбросов поступает от предприятий теплоэнергетики. Теплоэнергетика города представлена двумя ТЭЦ и многочисленными котельными, работающими на угле. В городе имеются заводы: авиационный, стекольный, локомотивовогоноремонтный, мостовых металлических конструкций; предприятия пищевой и легкой промышленности. Выбросы промышленных предприятий, котельных, автомобильного и железнодорожного транспорта обуславливают локальный характер загрязнения вблизи предприятий и вдоль дорог, а также на участках с более тяжелым гранулометрическим составом почв (с содержанием физической глины более 30%) и высоким содержанием гумуса. Максимальный уровень загрязнения отмечается в центральной части города, вблизи ТЭЦ, промышленных предприятий и железнодорожного транспорта с высоким и очень высоким уровнем загрязнения почв Pb, Co, Cu, Zn, As, превышающим ПДК (ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2042-06) в 1–3 раза (табл. 4). Индекс суммарного загрязнения исследуемых элементов Z_c для почв равен 5–24,

Таблица 2. Содержание макро- и микроэлементов в верхних горизонтах почв (20 см) некоторых ключевых участков

Местоположение	Почва	%										мг/кг									
		Al	Fe	Ti	Mn	F	Ba	Sr	Cu	Ni	Co	Cr	V	Pb	Cd	Zn	As				
г. Иркутск и прилегающая территория																					
В 20 км от Иркутска на Ю-3, в 0.5 км от Иркутского алюминиевого и известкового завода	Серая (Umbrisol)	32.0	4.0	0.52	0.78	4007	1939	685	122	121	33	114	105	76	5.1	385	5.2				
15 км от Иркутска на Ю-3	Дерново-подзолистая (Folic Retisols)	10.0	3.8	0.39	0.24	794	1401	511	74	77	18	100	97	45	0.9	216	1.6				
10 км от Иркутска на Ю-3	Дерново-подзолистая (Folic Retisols)	9.8	4.3	0.39	0.19	369	1097	227	47	90	18	109	86	46	0.3	52	4.1				
Иркутск, возле ТЭЦ	Аллювиальная гумусовая (Fluvisols)	7.4	3.9	0.40	1.60	642	597	449	59	81	17	91	95	23	4.9	360	3.6				
Иркутск, м-н Юбилейный	Урбанозем (Anthrosol)	8.0	3.7	0.38	0.61	628	505	269	45	57	14	95	75	20	1.0	105	0.8				
Иркутск, центр города	Урбанозем (Anthrosol)	9.1	4.5	0.57	1.70	614	914	311	54	59	14	109	90	34	2.1	124	2.1				
Иркутск, Академгородок	Урбо-серая (Umbrisol)	8.0	3.1	0.48	0.69	548	727	238	48	55	8	100	94	34	0.8	81	1.2				
Иркутск, центр города	Урбанозем (Anthrosol)	7.5	4.4	0.38	0.59	328	592	256	52	66	17	100	172	31	0.7	57	2.0				
Иркутск, м-н Солнечный	Урбанозем (Anthrosol)	8.0	2.5	0.34	0.47	352	476	276	59	59	10	92	79	26	0.5	37	0.9				
10 км на юг от Иркутска	Дерново-подзолистая (Folic Retisols)	7.9	2.5	0.32	0.35	168	518	270	40	43	10	92	98	20	0.3	52	0.5				
70 км на Ю-В от Иркутска	Дерново-подзол (Folic Podzols)	8.0	2.8	0.31	0.19	267	511	229	45	44	10	90	78	22	0.1	36	0.5				
Среднее содержание на фоновом участке, 60–70 км от Иркутска, n = 14		9.0	3.6	0.41	0.46	395	605	338	45	43	13	96	90	26	0.2	40	0.5				
г. Улан-Удэ и прилегающая территория																					
Пойма р. Селенга, пригород Улан-Удэ, сенокос, пастбище	Агроаллювиальная гумусовая (Fluvisols)	8.3	3.4	0.4	0.82	435	534	359	134	35	22	52	112	9	0.3	82	1.9				
Долина р. Селенга, пригород Улан-Удэ, пастбище	Агроаллювиальная темногумусовая (Fluvisols)	8.0	5.2	0.5	1.13	520	801	296	121	52	24	66	142	9	0.1	28	0.5				
Участки частных домов в Улан-Удэ	Агрочернозем (Chernozem)	8.6	7.8	0.3	1.56	602	484	227	69	30	21	26	89	8	0.2	51	3.1				
Улан-Удэ, центр города	Урбанозем (Anthrosol)	8.5	3.1	0.4	1.11	652	859	493	25	18	23	25	86	10	0.1	84	1.4				
Долина р. Селенга, пригород Улан-Удэ	Каштановая (Castanozems)	7.5	3.1	0.5	0.50	432	818	585	27	19	24	59	93	10	0.2	79	1.2				
Пойма р. Селенга, железнодорожная станция г. Улан-Удэ	Аллювиальная темногумусовая (Fluvisols)	9.1	3.5	0.2	1.05	908	615	253	80	21	18	33	84	8	1.2	80	4.0				
Долина р. Селенга, пригород Улан-Удэ, частный сектор	Агрозем (Anthrosol)	8.6	1.8	0.3	0.42	605	549	284	17	5	8	21	41	11	0.1	35	5.0				
Пойма р. Селенга, пригород Улан-Удэ	Аллювиальная темногумусовая (Fluvisols)	7.3	1.2	0.3	0.39	320	439	284	63	12	7	21	31	12	0.1	50	0.7				

Таблица 2. Продолжение

Местоположение	Почва	%										мг/кг									
		Al	Fe	Ti	Mn	F	Ba	Sr	Cu	Ni	Co	Cr	V	Pb	Cd	Zn	As				
Улан-Удэ, центр города	Аллювиальная гумусовая (Fluvisols)	9.0	2.3	0.4	0.55	532	867	184	67	16	11	31	52	65	0.3	91	2.2				
Среднее содержание на фоновом участке, 40–60 км от Улан-Удэ, n = 21		8.2	3.5	0.4	0.83	501	663	329	23	22	9	37	81	10	0.3	61	0.5				
г. Улан-Батор и прилегающая территория																					
Частные дома, юрты в пригороде Улан-Батора, пастбище	Аллювиальная темногумусовая (Fluvisols)	8.5	1.9	0.4	0.44	601	627	500	11	42	3	38	51	26	1.0	85	0.9				
Долина р. Туул, пригород Улан-Батора, пастбище	Чернозем (Chernozem)	7.6	4.0	1.1	0.68	523	716	832	31	25	13	69	129	10	3.2	72	0.6				
На территории промышленной добычи угля, вблизи г. Улан-Батор	Эмбриоземы (Anthrosol)	9.1	1.7	0.3	1.59	620	567	386	68	10	5	26	46	60	1.3	67	4.0				
Долина р. Туул, частный сектор г. Улан-Батор	Урбо-каштановая (Kastanozems)	9.0	3.0	1.2	0.58	805	931	446	10	10	4	26	44	18	2.2	80	4.5				
Долина р. Туул, пригород Улан-Батора, пастбище	Аллювиальная темногумусовая (Fluvisols)	9.2	2.7	0.4	0.67	601	619	527	16	22	8	41	59	18	1.5	77	0.5				
Долина р. Туул, пригород Улан-Батора, частный сектор	Аллювиальная темногумусовая (Fluvisols)	8.0	2.9	0.5	1.01	702	350	296	24	17	13	51	71	62	1.0	70	2.6				
Улан-Батор, пойма р. Туул, под мостом	Аллювиальная гумусовая (Fluvisols)	6.5	3.8	0.9	0.89	405	874	520	29	35	12	62	93	41	2.0	76	1.9				
Улан-Батор, центр города	Урбанозем (Anthrosol)	6.0	2.6	0.4	0.91	530	470	329	30	31	16	83	88	22	2.0	64	1.2				
Улан-Батор, центр города	Урбанозем (Anthrosol)	7.8	0.9	0.2	0.87	360	462	572	6	12	6	29	31	22	1.2	82	0.7				
2 км на С–В от Улан-Батора	Аллювиальная гумусовая (Fluvisols)	7.6	2.0	0.3	0.76	509	494	559	15	45	8	39	49	20	1.6	74	0.8				
10 км на С–В от Улан-Батора	Каштановая (Kastanozems)	9.2	2.2	0.3	0.44	480	407	474	24	24	3	44	51	11	3.7	68	0.6				
70 км на С–В от Улан-Батора, заповедник Горхи-Тэрэлж, правый приток Тэрэлж реки Туул	Аллювиальная гумусовая (Fluvisols)	8.9	0.9	0.2	0.40	301	619	426	6	19	7	19	23	21	1.9	54	0.5				
Сомон Омнодэл, 128 км от Улан-Батора	Урбанозем (Anthrosol)	7.6	4.1	0.8	0.82	362	738	510	66	23	10	53	113	31	2.2	74	0.7				
Среднее содержание на фоновом участке, 70–130 км от Улан-Батора, n = 17		8.0	2.5	0.5	0.71	427	606	491	26	21	8	45	65	20	1.5	68	0.5				
ПДК, ОДК (ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2042-06)		–	–	–	1.5	–	–	66–132	40–80	–	–	–	150	32	1–2	55–110	2				

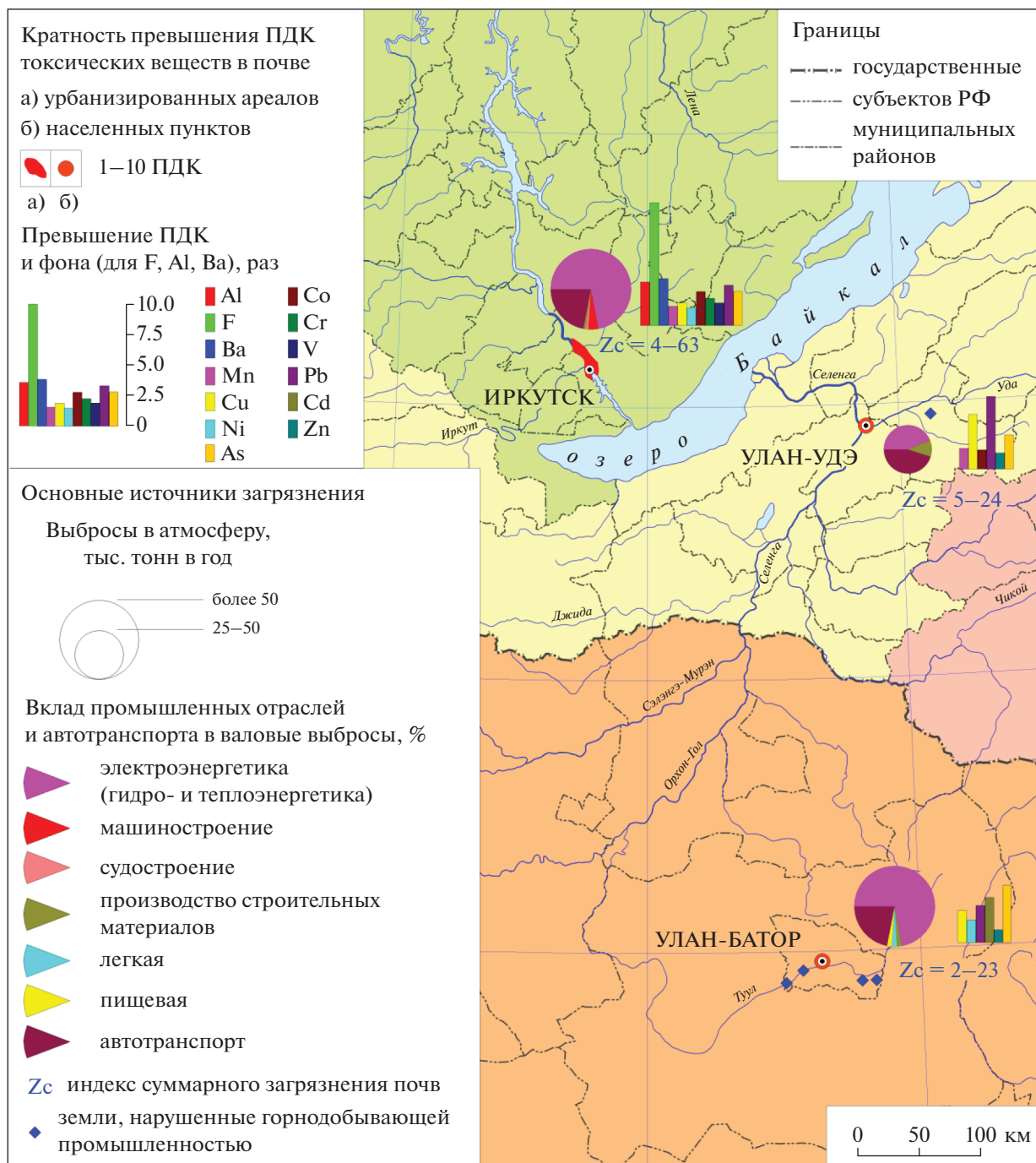


Рис. 1. Загрязнение почв гг. Иркутск, Улан-Удэ и Улан-Батор (по данным полевых исследований), источники поступления загрязнителей из атмосферы (по данным [16, 18, 40, 45, 46]).

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между концентрациями загрязняющих элементов и показателями физико-химических свойств почв гг. Иркутск, Улан-Удэ, Улан-Батор и их окрестностей (обработано 109 образцов почв)

Физико-химические свойства	F	Al	Mn	Ba	Cu	Ni	Co	Cr	V	Pb	Cd	Zn	As
pH	0.44	0.45	0.14	0.10	0.39	0.43	0.12	0.52	0.11	0.13	0.15	0.35	0.12
Гумус	0.62	0.64	0.86	0.70	0.71	0.48	0.56	0.31	0.83	0.88	0.86	0.55	0.82
Физическая глина	0.57	0.58	0.35	0.67	0.81	0.73	0.86	0.74	0.63	0.60	0.26	0.63	0.61

Таблица 4. Предельные значения и среднее содержание макро- и микроэлементов в верхних горизонтах почв (20 см) различных функциональных зон г. Иркутск, Улан-Удэ, Улан-Батор и их окрестностей

Местоположение (количество образцов верхних горизонтов почв)	Функциональная зона	Содер- жание	%										мг/кг									
			Al	Fe	Ca	Mg	Ti	Mn	F	Ba	Sr	Cu	Ni	Co	Cr	V	Pb	Cd	Zn	As		
Иркутск и прилегающая территория (40)	Промышленная	max	32.0	4.0	13.6	3.4	0.52	1600	4007	1939	685	122	121	33	114	172	96	5.1	395	5.2		
		min	7.4	3.8	8.8	1.8	0.39	240	642	597	449	59	77	17	91	95	23	1.0	105	1.8		
		среднее	17.8	3.9	11.0	2.6	0.44	892	2018	1295	556	87	95	24	102	99	49	0.9	216	3.6		
	Многоэтажной застройки	max	8.0	4.4	10	1.8	0.48	691	548	727	276	59	66	17	100	105	34	2.1	124	2.0		
		min	7.5	2.5	2.6	0.9	0.34	473	328	476	238	48	55	8	92	79	26	0.5	37	0.9		
		среднее	7.8	3.4	6.1	1.4	0.40	580	421	599	257	53	60	12	97	99	30	0.8	81	1.6		
	Частной застройки	max	9.8	4.3	6.0	1.5	0.39	611	628	1097	269	47	90	18	109	86	46	2.0	106	4.1		
		min	8.0	3.7	3.0	1.3	0.38	192	369	505	227	45	57	14	95	75	20	0.5	37	1.0		
		среднее	8.9	4.0	4.5	1.4	0.39	405	499	801	248	46	74	16	102	81	33	0.7	57	2.1		
	Рекреационная	max	9.0	3.6	6.2	1.7	0.41	462	395	605	338	45	44	13	96	98	26	0.3	52	1.9		
		min	7.9	2.5	2.8	1.3	0.31	190	168	511	229	40	43	10	90	78	20	0.1	36	0.5		
		среднее	8.4	3.0	4.3	1.5	0.35	334	279	550	281	43	43	11	93	88	23	0.2	40	1.2		
Улан-Удэ и прилегающая территория (31)	Промышленная	max	10.1	3.5	2.7	1.5	0.4	1117	908	867	493	80	21	23	33	86	65	1.2	91	4.0		
		min	7.0	2.3	1.7	0.7	0.2	549	401	615	184	25	16	11	25	52	8	0.1	80	2.1		
		среднее	8.2	2.9	2.3	1.1	0.3	877	605	765	321	55	18	17	29	72	31	0.6	85	3.0		
	Многоэтажной застройки	max	9.0	3.1	2.7	0.9	0.4	1117	652	867	493	67	18	23	31	86	65	0.3	91	2.2		
		min	7.1	2.3	1.7	0.7	0.4	549	410	859	184	25	16	11	25	52	10	0.1	84	0.9		
		среднее	8.5	2.7	2.2	0.8	0.4	833	532	863	339	46	17	17	28	69	38	0.2	88	1.4		

Таблица 4. Окончание

Местоположение (количество образцов верхних горизонтов почв)	Функциональная зона	Содержание	%											мг/кг										
			Al	Fe	Ca	Mg	Ti	Mn	F	Ba	Sr	Cu	Ni	Co	Cr	V	Pb	Cd	Zn	As				
Улан-Удэ и прилегающая территория (31)	Частной застройки	max	8.6	7.8	3.3	2.0	0.5	1459	602	801	359	134	52	24	66	142	12	0.3	82	4.0				
		min	7.3	1.2	1.3	0.1	0.3	393	320	439	227	17	5	7	21	31	8	0.1	28	1.2				
		среднее	8.0	4.1	2.5	1.0	0.4	867	435	578	291	80	27	19	24	59	84	10	0.2	51	3.1			
Рекреационная	Рекреационная	max	9.1	3.1	3.8	1.4	0.5	504	520	818	585	63	19	24	59	93	12	0.2	79	1.9				
		min	7.5	1.2	1.3	0.6	0.3	393	432	439	284	27	12	7	21	31	10	0.1	50	0.5				
		среднее	8.2	2.2	2.6	1.0	0.4	449	501	629	435	45	16	16	40	62	11	0.2	65	1.1				
Улан-Батор и прилегающая территория (38)	Промышленная	max	9.1	4.1	2.0	1.6	1.2	1588	702	931	832	68	45	13	69	129	62	3.7	85	4.0				
		min	6.1	1.7	0.6	0.4	0.3	435	431	350	296	10	10	3	26	44	10	1.0	67	0.8				
		среднее	8.0	2.6	1.8	0.9	0.6	835	620	597	513	29	25	7	43	68	31	2.1	74	1.7				
Многоэтажной застройки	Многоэтажной застройки	max	8.0	3.8	1.1	1.2	0.9	912	530	874	572	30	35	16	83	93	41	2.0	82	1.9				
		min	6.2	0.9	0.8	0.5	0.2	866	320	462	329	6	12	6	29	31	22	1.2	64	0.7				
		среднее	6.7	2.4	1.0	0.9	0.5	889	401	628	464	20	25	11	57	67	30	1.7	74	1.2				
Частной застройки	Частной застройки	max	9.1	4.0	2.0	1.3	1.2	1009	805	931	832	31	42	13	69	129	62	3.2	85	4.5				
		min	8.0	1.9	0.8	0.6	0.4	442	500	350	296	10	10	3	26	44	10	1.0	70	1.8				
		среднее	8.5	3.0	1.3	0.9	0.8	694	601	651	534	20	24	8	47	78	31	1.9	77	2.0				
Рекреационная	Рекреационная	max	9.2	2.7	0.8	1.0	0.4	666	520	619	527	16	22	8	41	59	21	1.9	54	1.8				
		min	7.6	0.9	0.6	0.5	0.2	403	301	619	426	6	19	7	19	23	18	1.5	50	0.5				
		среднее	8.0	1.8	0.7	0.75	0.3	535	427	619	477	11	21	8	30	41	20	1.7	52	0.9				
ПДК, ОДК (ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2042-06)			—	—	—	—	1500	—	—	—	66	40	—	—	150	32	1	55	2					
			—	—	—	—	—	—	—	—	132	80	—	—	—	2	2	110	—					

что определяет низкий (неопасный) и средний (умеренно опасный) уровни загрязнения. В промышленной зоне города наблюдается наибольший индекс суммарного загрязнения почв (Z_c до 24). В остальных зонах (рекреационной, многоэтажной и частной застройки) Z_c достигает небольших значений (5, 11 и 15), что соответствует низкому уровню загрязнения почв. Загрязнение почв имеет локальный характер вблизи предприятий и вдоль дорог, а также в почвах более тяжелого гранулометрического состава. В почвах сельскохозяйственных земель и садово-огородных хозяйств вблизи г. Улан-Удэ также выявлено локальное загрязнение (вдоль дорог и стоянок сельскохозяйственной техники).

В г. Улан-Батор и на прилегающей территории основным источником загрязнения почв также являются выбросы теплоэнергетического комплекса, работающего на буром угле, и продукты сгорания от печного отопления юрточных районов пригорода. Существенную долю в загрязнение атмосферы и почв вносят выбросы транспортных, ремонтных и других предприятий. В почвах города зафиксировано превышение санитарно-гигиенических норм в 1.1–2.3 раза по содержанию Zn, Cd, Pb, Ni, Cu, As. Индекс суммарного загрязнения исследуемых элементов Z_c для почв варьирует от 2 до 23, что является низким и средним уровнем загрязнения. Наибольшие уровни загрязнения почв зафиксированы в зонах: промышленной (Z_c до 23) и частной застройки (Z_c до 21). В зоне многоэтажной застройки наблюдается локальное загрязнение почв низкого уровня (значения Z_c достигают 14). В рекреационной зоне загрязнения почв не выявлено. Для почв г. Улан-Батора и его окружения характерен в основном легкий гранулометрический состав и слабая сорбционная активность, вследствие чего загрязняющие вещества достаточно свободно вымываются в период ливневых осадков из почво-грунтов в поверхностные водные объекты и подземные водоносные горизонты [40, 42–44]. Часть загрязняющих химических элементов аккумулируется на органическом и щелочном геохимическом барьере.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена сравнительная характеристика загрязнения почв центральных городов урбанизированных территорий Иркутской области, Бурятии и Монголии. Почвы Иркутска, Улан-Удэ и Улан-Батора сформированы в различных природных зонах, что определяет различные условия аккумуляции и миграции загрязняющих веществ. Орографическое строение земной поверхности в городах и пригородах создает условия к рассеиванию вредных веществ в атмосфере. Самая низкая способность атмосферы к рассеиванию поллютантов наблюдается в зимнее время года в г. Улан-

Батор. Город Иркутск находится в наиболее холодных и влажных условиях. В наиболее сухих и теплых условиях расположены Улан-Удэ и Улан-Батор.

Основными источниками загрязнения городской среды являются промышленные предприятия, ТЭЦ, котельные и автотранспорт. Загрязнение почв отмечается вблизи крупных промышленных комплексов. Наиболее загрязненные почвы выявлены в г. Иркутск, вследствие большой техногенной нагрузки и аккумуляции загрязняющих веществ на адсорбционном и щелочном геохимических барьерах. Концентрации F, Al, Pb, Mn, Cr, Co, Ni, Ba, V, Cd, Zn, As в почвах г. Иркутск и его пригорода превышают их фоновое содержание. Наименьшее загрязнение почв установлено в г. Улан-Батор, что обусловлено легким гранулометрическим составом почв. В почвах города накапливаются Zn, Cd, Pb, Ni, Cu, As. Максимальная концентрация загрязняющих веществ обнаружена локально в почвах пригорода вблизи промышленных предприятий, ТЭЦ, котельных, в зоне печного отопления. Почвы г. Улан-Удэ характеризуются средними и низкими показателями загрязнения почв Pb, Co, Cu, Zn, As.

Несмотря на относительно низкую степень загрязнения почв Улан-Удэ и Улан-Батора по сравнению с Иркутском, следует проводить постоянный мониторинг загрязнения почвенного покрова городов, так как уровень их урбанизации растет большими темпами. Перевод ТЭЦ и котельных на газ решил бы часть экологических вопросов, сократил бы техногенные выбросы.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы АААА-А21-121012190055-7, АААА-А19-119080700040-8) и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-55-44020 Монг_т, 18-45-030039.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Рис. S1. Ключевые площадки отбора проб почв на территории: А – г. Иркутск, В – Улан-Удэ, С – Улан-Батор.

Табл. S1. Координаты точек отбора проб почв, местоположение, функциональная зона города, 2013–2019.

Приложение S1. Морфологическое описание почв ключевых участков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
2. *Ариунушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.
3. *Артамонова С.Ю.* Экология городов: анализ и оценка с помощью РФА-СИ на примере Новосибирска // Поверхность, рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2011. № 11. С. 66–71.
4. Атлас развития г. Иркутска. Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2011. 131 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22605944>
5. *Белозерцева И.А., Сороковой А.А.* Почвенно-экологическое районирование Байкальского региона (включая территорию Монголии) // Геодезия и картография. 2018. № 10. С. 54–64. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2018-940-10-54-64>
6. *Белозерцева И.А., Сороковой А.А., Бешенцев А.Н., Пахахинова З.З., Батхишиг О., Оюунчимэг Т.* Деграляция и загрязнение почв // Экологический атлас бассейна озера Байкал. Карта М-6 1 : 5000000. Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. 2015. С. 96–98. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23952047>
7. *Белозерцева И.А., Убугунов Л.Л., Бадмаев Н.Б., Убугунов В.Л., Доржготов Д., Батхишиг О., Убугунова В.И., Гынинова А.Б., Балсанова Л.Д., Гончиков Б.Н., Цыбикдоржиев Ц.Д.Ц., Сороковой А.А.* Карта “Почвы бассейна озера Байкал”. Масштаб 1 : 2500000. Иркутск: ИГ СО РАН, 2015. https://elibrary.ru/download/elibrary_24268326_12597939.jpg
8. *Валова Е.Э., Цыбенков Ю.Б.* Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове г. Улан-Удэ // Вестник Бурятского гос. ун-та. 2011. № 4. С. 200–203.
9. *Водяницкий Ю.Н.* Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. М., 2008. 164 с.
10. *Воробьева Г.А.* Почвы Иркутской области: вопросы классификации, номенклатуры и корреляции. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2009. 149 с.
11. *Воробьева Г.А., Белозерцева И.А.* Карта “Почвы” // Атлас развития г. Иркутска. М-6 1 : 150000. Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2011. С. 44–45. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22605944>
12. *Воробьева И.Б., Ломоносов И.С., Гапон А.В., Арсентьева А.Т.* Техногенные загрязнения снега и почв. Геоэкологическая характеристика городов Сибири. Иркутск: ИГ СО РАН, 1990. С. 61–71.
13. Всероссийская перепись населения 2010 г. Численность населения городских населенных пунктов Российской Федерации [Электронный ресурс] // Демоскоп. URL: http://www.demoscope.ru/weekly/ssp/rus10_reg2.php (дата обращения 15.02.2021)
14. *Глазовская М.А.* Геохимия природных и техногенных ландшафтов: (ландшафтно-геохимические процессы). М.: Изд-во Моск. ун-та, 2007. 350 с.
15. Государственный доклад “О состоянии и охране окружающей среды Республики Бурятия в 2018 г.”. Улан-Удэ: Минприроды Республики Бурятия, 2019. 242 с.
16. *Гребенщикова В.И., Лустенберг Э.Е., Китаев Н.А., Ломоносов И.С.* Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон). Новосибирск: Гео, 2008. 234 с.
17. *Давыдова Н.Д., Знаменская Т.И.* Геоэкологические проблемы Сибири, связанные с развитием цветной металлургии // География и природные ресурсы. 2016. № 4. С. 41–47.
18. Доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2018 г.”. Иркутск: ООО “Мегапринт”, 2019. 307 с.
19. *Жорняк Л.В.* Эколого-геохимическая оценка территории г. Томска по данным изучения почв. Дис. ... канд. г.-м. н. Томск, 2009. 209 с.
20. *Кудряшов С.В.* Оценка и нормирование экологического состояния почв Норильского промышленного района. Автореф. дис. ... канд. б. н. 2010. 155 с.
21. *Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М.* Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 320 с.
22. *Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Сорокина О.И., Бажа С.Н., Гунин П.Д., Энх-Амгалан С.* Эколого-геохимическое состояние почв г. Улан-Батор (Монголия) // Почвоведение. 2011. № 7. С. 771–784. ID: 16455584
23. *Коваль П.В., Гребенщикова В.И., Китаев Н.А., Ломоносов И.С.* Геохимия окружающей среды Прибайкалья // Геология и геофизика. 2000. № 4. С. 571–577.
24. *Корляков И.Д., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е.* Тяжелые металлы и металлоиды в почвенном покрове города Улан-Удэ // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2019. № 3. С. 120–137.
25. *Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Бажа С.Н., Гунин П.Д., Голованов Д.Л., Ямнова И.А., Энхамгалан С.* Загрязнение почв тяжелыми металлами в промышленных городах Монголии // Вестник Моск. ун-та. Сер. География. 2010. № 3. С. 20–27.
26. *Максютова Е.В., Кичигина Н.В., Воронай Н.Н., Бальбина А.С., Осипова О.Н.* Тенденции гидроклиматических изменений на Байкальской природной территории // География и природ. Ресурсы. 2012. № 4. С. 72–80.
27. Национальный атлас Монголии. Институт географии и геоэкологии академии наук Монголии. Улан-Батор, 2009. 184 с.
28. *Нечаева Е.Г., Белозерцева И.А., Напрасникова Е.В., Воробьева И.Б., Дубынина С.С., Давыдова Н.Д., Власова Н.В.* Мониторинг и прогнозирование вещественно-динамического состояния геосистем сибирских регионов. Новосибирск: Наука, 2011. 315 с.
29. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: <http://www.gks.ru>
30. *Оюунгэрэл Б., Мунхдулам О.* Современное состояние особо охраняемых природных территорий Монголии // География и природные ресурсы. 2011. № 2. С. 168–172.
31. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1999. 610 с.
32. *Ревич Б.А., Саэт Ю.Е., Смирнова Р.С.* Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов

- металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. М.: ИМГРЭ, 1990. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293736/4293736062.pdf>
33. Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова Л.Н., Трефилова Н.Я., Ачкасов А.И., Саркисян С.Ш. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
 34. Сорочкина О.И. Тяжелые металлы в ландшафтах г. Улан-Батора. Автореф. дис. ... канд. геогр. н. М., 2013. 24 с.
 35. Танделов Ю.П. Фтор в системе почва–растение / Под ред. В.Г. Минеева. Красноярск, 2012. 146 с.
 36. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьевой. М.: ГЕОС, 2006. 399 с.
 37. Трошина Е.Н. Экологическая оценка загрязнения атмосферного воздуха и почв г. Омска тяжелыми металлами для обоснования мониторинга. Дис. ... канд. биол. н. Омск, 2009. 183 с.
 38. Убугунов В.Л., Кашин В.К. Тяжелые металлы в садово-огородных почвах и растениях г. Улан-Удэ. Улан-Удэ: ИОИБ СО РАН, 2004. 128 с.
 39. Убугунов Л.Л., Белозерцева И.А., Убугунова В.И., Сороковой А.А. Экологическое районирование почв бассейна озера Байкал // Сибирский экологический журн. 2019. № 6. С. 640–653. <https://doi.org/10.15372/SEJ20190602>
 40. Экологический атлас Байкальского региона. Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. 2017. [Электронный ресурс геопортала] <http://atlas.isc.irk.ru>
 41. Belozertseva I.A., Vorobeveva I.B., Vlasova N.V., Gagari-nova O.V., Yanchuk M.S., Lopatina D.N. Ecological status of the atmosphere and snow cover of the water area of Lake Baikal and its surrounding territories and its influence on the Lake pollution // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. V. 190. P. 012024.
 42. Atlas “Ecosystems of Mongolia” / Ed. E.A. Vostocova, P.D. Gunin, M., 2005. 48 p.
 43. Dorjsuren D. The Features of Water Resources Accumulation in Ulaanbaatar City Area and Scientific Approaches to Proper Use. Summary of Dissertation for Science Doctor (Sc.D.) degree of Geography Science, Mongolia, Ulaanbaatar, Institute of Geography and Geoecology of Academy of Sciences of Mongolia. 2020. 32 p.
 44. Ecosystems of Mongolia. Atlas / Eds.: P.D. Gunin, M. Saandar KMK Scientific Press Admon Ulaanbaatar. M., 2019. 264 p.
 45. Information and research institute of meteorology, hydrology and environment [Электронный ресурс] <http://irimhe.namem.gov.mn/> (дата обращения 15.02.2021)
 46. Meteorological and Environmental Research Agency [Электронный ресурс] <http://www.namem.gov.mn/pages/51> (дата обращения 15.02.2021)
 47. Odontuya G., Tsiiregzen A., Boldbaatar G., Khureldavaa O., Ouyntsetseg D., Urnaa B., Amarsanaa B. Hydrochemical study of water supply of Ulaanbaatar city // Природа Внутренней Азии. 2018. № 2(7). P. 92–100.
 48. Statistics Department of Ulaanbaatar [Электронный ресурс] <http://ubstat.mn> (дата обращения 20.01.2021)

Soil Pollution of Urbanized Centers of Baikal Region (Irkutsk, Ulan-Ude, Ulaanbaatar Cities)

I. A. Belozertseva¹*, I. B. Vorobyeva¹, A. A. Sorokovoy¹, and D. N. Lopatina¹

¹ Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, 664033 Russia

*e-mail: belozia@mail.ru

The article provides a comparative assessment of the degree of soil pollution of various cities of the urbanized centers of the Baikal region. The material was statistical materials, cartographic works and data from soil and geochemical studies conducted by the authors in 2012–2019. Soil samples of the central cities of the Irkutsk region, the Republic of Buryatia and Mongolia (Irkutsk, Ulan-Ude, Ulaanbaatar, etc.), as well as adjacent territories were selected. It was revealed that the most polluted are the soils of Irkutsk (with an indicator of total pollution $Z_c = 4–63$), due to the presence of a large anthropogenic load and relatively high sorption capacity of soils. The main sources of pollution are petrochemical and metallurgical enterprises, CHP, boiler houses and vehicles. Toxic substances in soils exceeding the background spread towards the main direction of the winds and along the valley of the Angara River. The least pollution was recorded in Ulaanbaatar ($Z_c = 2–23$) despite the large anthropogenic load (emissions of the thermal power complex, construction, transport and repair enterprises and vehicles), since soils have a light granulometric composition through which pollutants migrate to surface and ground water. Soils of Ulan-Ude have an indicator of total pollution $Z_c = 5–24$, which varies from an average to a low level. Pollution is local near industrial plants, boiler houses, road and rail transport.

Keywords: soil cover, technogenesis, urbanization, pollution, Southern Eastern Siberia