

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

на правах рукописи

МИТРАКОВА Наталья Васильевна

**ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ТОКСИЧНОСТИ
ПОЧВ И ТЕХНОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В
ПЕРМСКОМ ПРИКАМЬЕ**

Специальность: 03.02.08 – Экология (биология)

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук,
профессор
Ольга Зиновьевна Еремченко

Пермь 2018

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	8
1.1. Особенности почвенного покрова природно-техногенных ландшафтов	8
1.1.1. Разнообразие, свойства, классификации антропогенно-преобразованных почв и техногенных поверхностных образований	8
1.1.2. Особенности организации почвенного покрова природно-техногенных ландшафтов.....	20
1.2. Оценка биологической активности и токсичности почв	23
1.2.1. Общее представление о биологической активности	23
1.2.2. Тестирование почвенной токсичности	28
ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	37
2.1. Характеристика территории и объектов исследований	37
2.1.1. Природные условия и объекты исследований в Кунгурской лесостепи.....	40
2.1.2. Экологические условия и объекты исследований в городе Перми	45
2.1.3. Экологические условия и объекты исследований зоны воздействия солеотвалов и шламохранилищ	51
2.2. Методы лабораторных исследований	60
ГЛАВА 3. ИЗУЧЕНИЕ ОТВЕТНОЙ РЕАКЦИИ ТЕСТ-КУЛЬТУРЫ НА СВОЙСТВА ПОЧВ И ПОДВИЖНОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ.....	63
3.1. Ответная реакция тест-культуры на свойства природных почв	63
3.2. Ответная реакция тест-культуры на свойства темно-серых почв.....	69
3.3. Ответная реакция тест-культуры на загрязнение почв солями свинца и кадмия.....	82
ГЛАВА 4. ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ТОКСИЧНОСТИ ГОРОДСКИХ ПОЧВ И ТЕХНОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ.....	99
4.1. Состояние почв и техногенных поверхностных образований в урбопеδοкомплексе на элювиально-делювиальных суглинках	102

4.2. Состояние почв и техногенных поверхностных образований в урбопедокомплексе на древнеаллювиальных песках.....	112
4.3. Состояние почв и техногенных поверхностных образований в урбопедокомплексе на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями.....	121
4.4. Состояние почв и техногенных поверхностных образований в урбопедокомплексе на аллювиальных породах.....	130
4.5. Сравнительная характеристика экологического состояния почв и техногенных поверхностных образований в урбопедокомплексах.....	137
5. ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ И ТЕХНОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЗОНЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛЕОТВАЛОВ И ШЛАМОХРАНИЛИЩ...	147
5.1. Почвы и техногенные поверхностные образования в технопедокомплексах	147
5.2. Состояние почв в технопедокомплексе на элювиально-делювиальных суглинках и выходах коренных пород.....	160
5.3. Состояние почв и техногенных поверхностных образований в технопедокомплексе на древнеаллювиальных песках и супесях и двучленных породах	167
5.4. Состояние почв и техногенных поверхностных образований в технопедокомплексах на аллювиальных породах	176
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	186
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	188
ПРИЛОЖЕНИЯ	210

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований. В почвенном покрове природно-техногенных ландшафтов широко представлены преобразованные, деградированные, вторичные почвы и техногенные поверхностные образования (ТПО), которые существенно отличаются от природных почв, зачастую характеризуются пониженной биологической активностью и токсичностью. Оптимизация окружающей среды не возможна без учета свойств и экологических функций этих новых компонентов почвенного покрова (Герасимова и др., 2003; Классификация и диагностика..., 2004; Ковалева и др., 2015; Эволюция почв..., 2015).

Низкая биологическая активность деградированных почв и ТПО может быть обусловлена, как их неблагоприятными свойствами, так и накоплением разнообразных загрязнителей (тяжелые металлы, соли, нефтепродукты и др.), что делает экологическую оценку их состояния весьма трудоемкой и длительной. В настоящее время при тестировании почв используют реакцию животных, микроорганизмов, растений; однако приоритет отдают высшей растительности, создающей фотосинтезирующий покров на поверхности, являющейся основой трофических отношений в биоценозах. Метод фитотестирования способен давать достоверную информацию о качестве почв, обладает универсальностью, интегральностью и простотой. Чувствительность растений к почвенно-химическому воздействию проявляется в ростовых, морфологических, биохимических характеристиках. Фитотестирование лежит в основе оценки токсичности почв, устойчивости их к загрязнению (Бакина и др., 2004; Воронина, 2009; Маячкина, Чугунова, 2009; Колесников и др., 2010; Лисовицкая, Терехова, 2010; Тимофеев и др., 2010; Терехова, 2011, Бардина и др., 2013; Николаева, Терехова, 2017).

Глубокая трансформация почвенного покрова характерна для техногенных и урбанизированных территорий Пермского края.

О.З. Еремченко с соавторами (2013; 2016) проведена диагностика и систематика городских почв и техногенных поверхностных образований (ТПО). Имеются сведения о накоплении тяжелых металлов в почвах городов (Еремченко, Москвина, 2005, Еремченко и др., 2016; Масленникова и др., 2017), водорастворимых солей – в почвах зоны воздействия солеотвалов (Еремченко, Лымарь, 2007, Еремченко и др., 2013; Лискова, 2017). В основу организации почвенного покрова природно-техногенных ландшафтов Пермского Прикамья положено представление о урбопедокомплексах и технопедокомплексах (Шестаков и др., 2014; Еремченко и др., 2017). В настоящее время отсутствует комплексная оценка экологического состояния этих образований, основанная на реакции растений.

Цель исследований – изучить основные свойства и биологическую активность почв в урбопедокомплексах жилых районов города Перми и технопедокомплексах Верхнекамского месторождения солей.

Задачи исследований:

1. Изучить ответную реакцию тест-культуры на свойства почв (рН, гумус, обменные основания, подвижные фосфаты и калий, подвижность свинца и кадмия, каталазная активность, интенсивность «дыхания»).
2. Определить основные свойства почв и техногенных поверхностных образований в урбопедокомплексах жилых районах г. Перми.
3. Оценить экологическое состояние поверхностных почвенных горизонтов (слоев) в урбопедокомплексах методом фитотестирования.
4. Изучить свойства почв и техногенных поверхностных образований в технопедокомплексах Верхнекамского месторождения солей.
5. Оценить экологическое состояние поверхностных почвенных горизонтов (слоев) в технопедокомплексах методом фитотестирования.

Научная новизна. В работе получила развитие концепция природно-техногенной организации почвенного покрова в Пермском Прикамье. Получены новые данные по сравнительной характеристике почв разных урбопедокомплексов. В ландшафтах Верхнекамского месторождения солей

впервые охарактеризованы вторичные почвы и техногенные поверхностные образования в составе трех технопедокомплексов; получены новые сведения об изменении свойств аллювиальных почв. Экологическая характеристика почв урбопедокомплексов и технопедокомплексов впервые дополнена результатами по фитотестированию.

Научная и практическая значимость. Показана перспективность использования понятий об урбопедокомплексах и технопедокомплексах в экологической оценке почвенного покрова и мониторинге его состояния. Разработан, апробирован и запатентован способ оценки биологической активности и токсичности почв по ответной реакции кресс-салата. Применение метода фитотестирования на загрязненных почвах и техногенных грунтах подтверждено актом внедрения.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. В урбопедокомплексах жилых районов города Перми почвы и техногенные поверхностные образования характеризовались преимущественно удовлетворительным экологическим состоянием; некоторые проявления почвенной токсичности прослежены в районе относительно старой застройки.

2. В технопедокомплексах территории Верхнекамского месторождения солей вторичные почвы и техногенные поверхностные образования отличались значительной неоднородностью свойств и биологической активности; токсичность почв обусловлена уровнем аккумуляции техногенных солей.

Апробация работы. Основные результаты исследований были представлены на II Всероссийской с международным участием школе-конференции молодых ученых «Биология будущего: традиции и новации» (Екатеринбург, 2012); на международной Пущинской школе - конференции молодых ученых «Биология – наука XXI века» (Пущино, 2013 – 2017 гг.); на международной научной конференции Докучаевские молодежные чтения (Санкт-Петербург, 2013 – 2017 гг.); на международном школе-семинаре

молодых ученых «Антропогенная трансформация природной среды» (Пермь, 2014 – 2016 гг.); на Всероссийской научной конференции «Красная книга почв и ее значение для охраны почвенного покрова» (Симферополь, 2015); на VII съезде Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Белгород, 2016); на Всероссийской научной конференции «Почвы России: вчера, сегодня, завтра» (Киров, 2017); на 8-ой международной научно-практической конференции «Экологические проблемы промышленных городов» (Саратов, 2017), на Всероссийской научной конференции «История и методология физиолого-биохимических и почвенных исследований» (Пермь, 2017).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 32 печатные работы, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК; получен патент.

Личный вклад автора. Материалы, изложенные в диссертации, были получены автором за период 2012-2017 гг. Автор принимал непосредственное участие в полевых работах. Выполнен полный объём лабораторных работ по анализу почвенных образцов, фитотестированию почв, обработке и систематизации полученных данных, их интерпретации. Подготовка к печати научных работ осуществлялась как самостоятельно, так и при участии соавторов.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 259 страницах машинописного текста; она состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Текст содержит 143 рисунка и 6 таблиц. Список литературы включает 203 источника, из них 16 англоязычных. В работе имеются приложения, содержащие 30 таблиц и 19 рисунков, в том числе, патент и акт внедрения.

Автор выражает огромную благодарность научному руководителю, профессору, доктору биологических наук О.З. Еремченко за неоценимую помощь и поддержку. Автор признателен доценту И.Е. Шестакову, магистру К.О. Чернышеву за помощь при взятии полевого материала.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Особенности почвенного покрова природно-техногенных ландшафтов

1.1.1. Разнообразие, свойства, классификации антропогенно-преобразованных почв и техногенных поверхностных образований

Почва выполняет ряд экологических функций, как биоценотических, так и общебиосферных, обеспечивающих стабильность биогеоценозов и биосферы в целом. С появлением человека, развитием его хозяйственной деятельности развивается трансформация почвенного покрова планеты. Характер антропогенного изменения почв зависит от функционального назначения территории (Добровольский, Никитин, 1990, 2000, 2006; Герасимова и др., 2003).

Антропогенно-преобразованные почвы, согласно классификации почв России 2004 года, рассматриваются как определенный этап естественно-антропогенной эволюции почв, сопровождающийся генетически обусловленным изменением режимов, процессов, строения и свойств на всех стадиях преобразований. Степень антропогенных трансформаций почв весьма различна, затрагивает разные части профиля и зависит как от интенсивности и длительности воздействий, так и от свойств исходных почв. Почвы, подвергшиеся разным по интенсивности антропогенным воздействиям, рассматриваются в единой системе с естественными почвами. В эту систему не входят искусственные почвы или грунты – техногенные поверхностные образования (ТПО) (Классификация и диагностика..., 2004).

Обособление таксономических единиц антропогенно-преобразованных почв опирается на те же принципы, что и выделение естественных почв. Основанием служит строение их профиля как вновь сложившейся системы

горизонтов, не характерной для природных почв и состоящей из комбинации унаследованных естественных и вновь созданных горизонтов.

Среди антропогенно-преобразованных почв наиболее широко распространены агрогенные почвы. Систему горизонтов этих почв в большинстве случаев определяет наличие нового поверхностного агрогенно-преобразованного горизонта (агрогоризонта), гомогенного, сформировавшегося при долговременных регулярных механических перемещениях почвенной массы и внесении различных органических и минеральных веществ. В результате горизонт приобретает отличную от естественных почв организацию почвенной массы, характеризуется изменением вещественного состава и особыми водно-физическими, физико-химическими и биологическими показателями.

При агрогенных преобразованиях, затрагивающих только верхнюю часть профиля, когда полностью или частично сохраняются в ненарушенном состоянии гумусово-аккумулятивные, элювиальные и другие диагностические горизонты, агрогенно-преобразованные почвы идентифицируются по сохранившимся горизонтам. В этом случае почвы рассматриваются как агроестественные.

Почвы, которые подвергались глубокой и длительной агрогенной гомогенизации верхней части профиля, идентифицируются как агроземы и торфоземы. При этом почва утрачивает признаки, позволяющие идентифицировать ее исходную типовую принадлежность. Агрогенно-преобразованный горизонт залегает на остатках срединного горизонта или почвообразующей породе.

В результате влияния любой абразии (плоскостной эрозии, дефляции, механического срезания) верхних естественных горизонтов на поверхность выходят срединные горизонты, в таком случае почва определяется как абразём. В случае формирования из срединных горизонтов агрогоризонта (агроабразивного) речь идет об агроабразёмах.

Формирование стратоземов связано с водной, эоловой аккумуляцией, а также с периодическим искусственным поступлением (в том числе с ирригационными водами) минерального и/или органического материала.

Во всех стволах существуют антропогенно-преобразованные почвы, идентифицируемые только на уровне отделов. К ним относятся: аквазёмы, формирующиеся в результате длительного затопления, сочетающегося с частичными механическими нарушениями естественного профиля (объединяют почвы, используемые под культуру риса); хемоземы, диагностируемые по опасному уровню загрязнения тяжелыми металлами, ксенобиотиками, радионуклидами и пр.; химически-преобразованные почвы с морфологическими трансформациями в профиле, вызванные воздействием химически агрессивных веществ (Классификация и диагностика..., 2004).

Таким образом, антропогенная трансформация стирает многие естественные свойства и приводит к появлению новых антропогенно-преобразованных горизонтов, спектр которых отличается от набора естественных верхних почвенных горизонтов.

Однако, кроме этих антропогенно-преобразованных почв, в настоящее время значительные площади (достаточные для того, чтобы быть объектом картографирования) на планете, в том числе и в нашей стране, занимают техногенные поверхностные образования (ТПО). Это могут быть целенаправленно сконструированные почвоподобные тела, а также остаточные продукты хозяйственной деятельности, состоящие из природного и/или специфического новообразованного субстрата. Все эти образования, находясь на поверхности и, тем самым, функционируя в экосистеме, не являются почвами в докучаевском смысле этого понятия, поскольку в них еще не сформировались генетические горизонты. В этой связи, ТПО не могут быть предметом генетической почвенной классификации. Вместе с тем они нуждаются в систематике и диагностике, поскольку, как и почвы, являются объектом экологического картографирования (Етеревская, 1989; Солнцева и др., 1990; Терентьев,

Суханов, 1998; Андроханов и др., 2000; Герасимова и др., 2003; Классификация и диагностика..., 2004; Брагина, Герасимова, 2017).

Почвенный покров техногенных ландшафтов включает в себя измененные исходные почвы, молодые почвы на обнажившихся и насыпных субстратах, искусственные почвы, созданные в ходе рекультивации земель, нарушенных добычей полезных ископаемых. Минимальные изменения могут не выражаться в морфологии почвенного профиля, а выявляться только аналитическими методами, максимальные предполагают полное уничтожение почв и создание новых.

М.И. Герасимовой с соавторами (2003) было выделено четыре группы техногенно преобразованных почв в районах горных выработок, в пределах нефтегазоносных и угольных бассейнов.

- Природные почвы с поверхностными механическими трансформациями. Нарушения почвенного профиля проявляются в пределах верхней 5-50-сантиметровой толщи. В профиле продолжают функционировать срединные и нижние горизонты, а верхние могут быть частично разбавлены техногенным материалом. Такие почвы называют «техно-почвами». Горизонты естественных почв, залегающие под техногенно-измененными, служат основанием для определения исходной почвы.

- Химически-преобразованные почвы. Группа объединяет почвы с загрязнением любыми химическими веществами. Выделяемые почвы: химически загрязненные (квази)природные – почвы с естественным профилем, но высокими концентрациями загрязнителя, превышающими региональный фон; хемо-почвы – почвы или почвоподобные тела, загрязнение которых химическими соединениями находит отражение в морфологии горизонтов, при сохранении общего строения профиля; хемоземы – почвы или почвоподобные тела, загрязненные химическими соединениями, вызывающими видимые изменения во всем профиле, появление новых горизонтов.

- Молодые почвы на техногенных грунтах. Аккумулятивные маломощные почвы, формирующиеся на грунтах, отвалах, промышленных площадках, а также в городах. В этой группе выделяют эмбриоземы, имеющие органогенный слабо развитый верхний горизонт мощностью менее 5 см.

- Искусственные почвоподобные тела рекультивированных земель – техноземы, которые состоят из одного или нескольких насыпных слоев, генетически не связанных друг с другом, и поверхностного плодородного слоя, общая мощность насыпных слоев превышает 50 см.

На территориях, измененных добычей полезных ископаемых, также встречаются «не-почвы», т.е. грунты, которые разделяются на природные и техногенные. К неприродным грунтам относятся материалы, образовавшиеся в результате хозяйственной или промышленной деятельности (золы, лампы, шлаки), зачастую с неблагоприятными физическими и агрессивными химическими свойствами (Герасимова и др., 2003).

В современной классификации в основе систематики и диагностики ТПО находится характер вещественного состава субстратов, слагающих эти образования: морфологическое строение вскрытой или насыпной толщи (в последней часто наблюдается система слоев), природное или искусственное происхождение, а также (в ряде случаев) химический состав материала, из которого состоят ТПО. Группы ТПО выделяются по потенциальной способности их материала к последующему хозяйственному использованию и возобновлению почвообразования при поселении растительности. Учитываются черты сходства ТПО с почвой, естественное или искусственное происхождение материала ТПО и его токсичность. Подгруппы ТПО выделяются на основании вещественного состава слагающего их материала – минерального, органического, смешанного (Классификация и диагностика..., 2004).

Группа квазиземы представляет собой гумусированные, внешне сходные с почвами почвоподобные образования. Выделяют две подгруппы

квазиземов: реплантоземы (целенаправленно созданные образования для сельскохозяйственного использования); урбиквазиземы (почвенные образования характерные для районов городских промышленных и селитебных новостроек).

Группа натурфабрикаты представляет собой поверхностные образования, лишенные гумусированного слоя. Выделяются абралиты (вскрытый и не утративший своего естественного залегания минеральный материал днищ и бортов карьеров); литостраты (насыпные минеральные грунты); органостраты (насыпной и складированный торф или иной природный органический материал); органолитостраты (смешанный несортированный органоминеральный материал).

Группа артифабрикаты состоят из искусственного насыпного нетоксичного материала, промышленного и урбаногенного происхождения, залегающего на почве на специально подготовленных площадках с полностью или частично нарушенными почвами. Включает подгруппы: артииндустраты (нетоксичный материал отвалов промышленной переработки естественных материалов: шлаки, зола); артиурбистраты (бытовые отходы городских свалок); артифимостраты (состоят из жидких, полужидких и твердых органических материалов).

Группа токсифабрикаты состоят из токсичных химически активных материалов, на которых без специальных дезактивационных мероприятий долгое время невозможно выращивание сельскохозяйственных и лесных культур, а также возобновление естественной растительности. Это материалы шламо- и хвостохранилищ токсичных отходов некоторых промышленных предприятий, отвалов вскрышных пород месторождений, вязкие нефтепродукты, ядовитые городские отходы, незакрытые отвалы ядохимикатов и минеральных удобрений. Подгруппы выделяются по степени токсичности слагающего их материала: токсиабралиты, токсилитостраты, токсииндустраты, токсиурбистраты, токсифимостраты (Классификация и диагностика..., 2004).

Свои особенности имеет почвенный покров городов; урбанизация вызывает уничтожение естественных почв, в формировании городских почв антропогенное воздействие преобладает над естественными факторами почвообразования (Строганова, Агаркова, 1992; Герасимова и др., 2003; Капралова, 2011; Жарикова, 2012; Апарин, Сухачева, 2013, 2015; Дымов и др., 2013; Калманова, Матюшкина, 2013; Замотаев, Белобородов, 2015; Еремченко и др., 2016).

Общепринятой классификации городских почв ни в России, ни в мире в настоящий момент не существует. В классификации почв России (Классификация и диагностика..., 2004) антропогенно-преобразованным почвам уделено заметное внимание, но почвы урбанизированных территорий не рассматриваются.

Интерес к изучению и попытки систематизации городских почв возникли в несколько последних десятилетий (Строганова, 1992; Почва, город, экология, 1997; Герасимова 2003; Матинян и др., 2008; Лебедева, Герасимова, 2011; Прокофьева и др., 2011, 2014; Апарин, Сухачева, 2012, 2013, 2015; Шестаков и др., 2014; Еремченко, 2016). Попытки систематики городских почв были предприняты для Москвы (Прокофьева и др., 2011), для Санкт-Петербурга (Апарин, Сухачева, 2013), для Перми (Шестаков и др., 2014), для Волгограда (Кретинин, 2014) и других городов РФ.

В широком понимании городская почва – это любая почва или почвоподобное тело, функционирующее в окружающей среде города. В узком смысле этот термин подразумевает почвы и почвоподобные тела, находящиеся под «прессом» города и (или) сформированные деятельностью человека в городе, которая одновременно является и пусковым механизмом, и постоянным регулятором городского почвообразования (Строганова, Агаркова, 1992). Определение городским почвам, данное М.И. Герасимовой и др. (2003), по мнению многих ученых, наиболее полно описывает их. Итак, городские почвы – это антропогенно-измененные почвы, имеющие созданный в результате человеческой деятельности поверхностный слой

мощностью более 50 см, полученный перемешиванием, насыпанием, погребением или загрязнением материала убраногенного происхождения, в том числе строительно-бытовым мусором. Для городских почв характерен диагностический горизонт «урбик».

При изучении морфогенетических свойств почв Москвы и особенностей их формирования были рассмотрены созданные в городе почвенные разности, которые получили название убраноземы. Собственно убраноземы характеризуются отсутствием генетических горизонтов до глубины 0,5 м. Обычно они представлены культурными отложениями, состоящими из своеобразного пылевато-гумусного субстрата разной мощности с примесью городского мусора. Культуроземы – городские почвы фруктовых и ботанических садов, старых парков или бывших хорошо окультуренных пашен; отличаются большой мощностью гумусового горизонта и перегнойно-торфокомпостного слоя разной мощности, развиваются на нижней иллювиальной части почвенного профиля исходной природной почвы. Индустриземы – почвы промышленных зон, сильно техногенно загрязненные и уплотненные. Некроземы – почвы, входящие в комплекс городских кладбищ. Наряду с убраноземами в городе выделяются и естественные почвы разной степени нарушенности (Строганова, Агаркова, 1992).

Позднее М.Н. Строгановой и соавторами (Почва, город, экология, 1997) классификация городских почв была расширена. Были выделены два типа почв: «урбанозем» и «урботехнозем». Тип «урбанозем» включил ранее описанные почвы. Урботехноземы – искусственно созданные поверхностные образования, формирующиеся в городах, в районах массовой застройки. К урботехноземам относятся реплантоземы, состоящие из маломощного гумусового слоя, слоя торфо-компостной смеси или слоя органо-минерального вещества, нанесенные на поверхность рекультивируемой породы; и конструктороземы – искусственно целенаправленно создаваемые

почвы-грунты, состоящие из слоев грунта разного гранулометрического состава и происхождения и насыпного плодородного слоя.

Выделена отдельная группа почв, запечатанных под дорожными асфальто-бетонными и каменными покрытиями – экраноземы, экранированные почвы. Они существенно уплотнены, не происходит поступление вещества извне. При дорожном строительстве часто происходит срезание почвенного профиля до грунтов и (или) последующее наложение нового материала и дорожного покрытия. В этом случае выделяется группа «запечатанный грунт».

В городах распространены участки с безгумусными техногенными открытыми грунтами, которые представлены инертными и токсичными отходами промышленного производства и твердыми бытовыми отходами городских свалок.

К настоящему времени классификация городских почв переосмыслена с целью возможности их включения в современную классификационную систему почв России (Прокофьева и др., 2014). В этом научном обобщении также был использован субстантивный подход, почвенные типы выделяются по индивидуальному набору диагностических почвенных горизонтов.

Для городских почв предлагаются следующие диагностические горизонты. Горизонт урбик (UR) – синлитогенный диагностический горизонт постепенно образуется за счет привнесения различных субстратов на дневную поверхность в условиях городских и сельских поселений. Рекультивационный компостно-гумусовый горизонт (RAT) – насыпной компостный, торфо-компостный или гумусированный материал, используемый для рекультивации и слабо измененный почвообразованием. Рекультивационный торфяной горизонт (RT) – насыпной, преимущественно состоящий из торфа материал, используемый для рекультивации и слабо измененный почвообразованием.

Для описания разнообразных почвоподобных тел, представляющих из себя слои техногенных материалов различного характера, созданных

человеком на территории городов, был также введен новый диагностический горизонт – техногенный горизонт (ТСН). В сущности почвоподобные тела – это слои техногенных материалов различного характера, стихийно или сознательно создаваемые человеком на территории города. Свойства техногенных отложений сильно варьируют, зависят от происхождения и слабо проработаны процессами почвообразования.

Для классификации почв на уровне подтипа были введены квалификаторы – диагностические признаки, которые могут отражать как природные явления (глееватость, солонцеватость), так и техногенные свойства почв (урби-стратифицированные, зафосфаченные или недостаточно выраженные “городские”: ur, gat, rt). Признаки слоев - горизонтов ТСН, РАТ и RT могут использоваться и как квалификаторы. И природные и городские квалификаторы могут быть как унаследованными от “догородского” почвообразования, так и новообразованными в городе, но сложность диагностики и субъективность ее результата пока не позволяют вводить временной аспект в название почвы.

На уровне подтипа в системе техногенных почв выделяются химически загрязненные почвы, к которым относятся почвы с превышающими ПДК (ОДК) значениями концентрации одного или нескольких (по отдельности) опасных для человека химических загрязнителей или повышенным уровнем радиационной опасности.

Были внесены уточнения в систему почвообразующих пород в городе. Отличие городских почв в немалой степени определяется своеобразием техногенных субстратов и их сочетаниями с природными. В городах наблюдается синлитогенный характер почвообразования. В таких условиях трудно отделить почвообразующую породную толщу от подстилающей породы. Условно можно считать материал, преобладающий в толще 1 м от поверхности, почвообразующей породой, ниже – подстилающей, если в пределах 1 м нет резкого литологического контакта.

Т.В. Прокофьевой и др. (2014) предлагается различать следующие группы почвообразующих пород: природные – природный субстрат, не перемещенный с места естественного залегания; погребенная почва инситу; техногенные – перемещенный природный субстрат, возможно с единичными городскими артефактами; – искусственная техногенная порода – шлаки, золы, фрагменты погребенных дорожных покрытий и др.; – культурный слой (исторически сложившаяся система напластований, созданная деятельностью человека на территории города). Ученые не просто разработали новую систему для классификации городских почв, ими также проделана работа по включению городских почв в систему классификации почв России.

Место типов и подтипов городских почв в классификации почв России будет определяться строением профиля, наличием и мощностью горизонта урбик и/или природных горизонтов, характером субстрата, степенью его изменения текущим почвообразованием.

Известно, что почвы в городской среде формируются при постоянном или периодическом поступлении новых порций различных материалов на поверхность, что позволяет отнести их к стволу Синлитогенных почв к отделу стратоземов. В рамках отдела они представляют собой типы, в профиле которых имеется “новый” для отдела горизонт урбик, и почвы называли урбостратоземами. Урбостратоземы представлены несколькими типами в соответствии со строением профиля: урбостратоземы (урбаноземы) с профилем UR–D, урбостратоземы (урбаноземы) на погребенных почвах – UR–[A–B–C] или UR > 40 см, урбостратоземы (урбаноземы) техногенные: UR–TCH, UR–TCH–D.

В ствол постлитогенных почв в отдел органо-аккумулятивных попадают все почвы на природных и техногенных отложениях с уже сформировавшимися гумусово-аккумулятивными горизонтами (серогумусовые, темногумусовые, светлогумусовые). К стволу постлитогенных почв должны быть отнесены на уровне подтипов все

переходные к природным урбостратифицированные почвы (урбопочвы), где мощность горизонта урбик, залегающего на естественном профиле или его остатках, не превышает 40 см.

В ствол первичного почвообразования могут быть включены почвы начальных стадий педогенеза на различных природных и техногенных породах, в зависимости от гранулометрического состава они могут быть названы пелоземами, псаммоземами, петроземами.

К ТПО отнесены разновидности рекультивационных тел – квазиземы и техноземы, последние включают реплантоземы, конструкторземы, рекреаземы и другие рекультивационные почвоподобные тела.

Работа над совершенствованием классификации городских почв продолжается. Так, Б.Ф. Апарин с соавторами (2013, 2015), использует мощность гумусового горизонта, его вещественный состав и свойства как классификационный признак. В ствол синлитогенных почв рекомендует ввести еще один отдел интродуцированных почв, у которых интродуцированный органоминеральный или торфяной горизонт (RY, RU или RT) мощностью менее 40 см залегает на минеральном субстрате D, образованном *in situ* или привнесённом извне.

Мировая коррелятивная база почвенных ресурсов (World reference base for soil resources, 2014) создана в качестве общего языка для специалистов, использующих информацию о почвах. Система WRB является субстантивно-генетической, в качестве признаков и свойств почв, обеспечивающих диагностику и классификацию горизонтов и почв, используются характеристики твердой фазы почвенных тел.

Объектом классификации WRB является любой материал, находящийся в пределах 2 м от дневной поверхности и контактирующий с атмосферой, за исключением живых организмов, территорий сплошного распространения льда, не перекрытого другими материалами и поверхностей водных объектов глубиной более 2 м. Данное определение включает в себя и

городские почвы, в том числе, запечатанные, реконструированные почвы и «не-почвы» техногенных ландшафтов (Мировая реферативная база..., 2017).

В отдельную почвенную группу WRB выделены почвы, находящиеся под сильным антропогенным воздействием: почвы интенсивного использования в земледелии – Anthrosols/Антросоли и почвы с высоким содержанием артефактов - Tecnosols/Техносоли.

В техносолях выделяются техногенные диагностические материалы (преимущественно из материнской породы): artefacts – артефакты – сделанные, существенно видоизменённые или перемещённые на поверхность из глубоких слоев человеком; в целом сохранившие свои химические и минералогические свойства с момента изготовления, видоизменения или добычи; technic hard material – плотный техногенный материал – консолидированный, почти непрерывный, промышленно изготовленный материал, существенно отличается по свойствам от естественных материалов; имеет непрерывное площадное распространение.

1.1.2. Особенности организации почвенного покрова природно-техногенных ландшафтов

Ландшафтное планирование является тем инструментом, с помощью которого поддерживаются относительно благоприятные условия окружающей среды. Проведение мероприятий по территориальному и ландшафтному планированию требует почвенной съемки. Эколого-почвенная карта должна отражать состояние экологических функций городских почв, что создаст основу развития природоохранной деятельности, организации и проведения мониторинга состояния городской среды. Тип землепользования (функциональное зонирование территории и связанные с ним виды и степень воздействия на почвы) является ключевым фактором, определяющим состояние почвенного покрова урбанизированных и техногенных территорий (Строганова, Раппопорт, 2005; Soil Atlas..., 2005;

Byrne, 2007; Neerchal, 2007; Pouyat and etc, 2007; Смагин, Шоба, 2008; Ивашкина, Кочуров, 2011; Матюшкина, 2011; Прокофьева и др., 2011; Апарин, Сухачева, 2012; Шестаков, 2014).

В любом городе наблюдается частая пространственная смена почв, техногенных поверхностных образований и почвогрунтов с фундаментами зданий, коммуникациями, карьерами и запечатанными поверхностями под дорогами и асфальтово-бетонными покрытиями; т.е. почвенный покров обладает сложной мозаичной структурой, обусловленной частой сменой почв и ТПО, высокой степенью морфологической контрастности входящих в него компонентов (Почва, город, экология, 1997; Еремченко и др., 2016). Поэтому в основу представлений об организации почвенного покрова ряда городов были положены почвенные комплексы или комбинации.

В почвенной карте Нью-Йорка каждому пронумерованному контуру соответствует комплекс из двух и более почв (почвенных серий) и непочвенных компонентов. Почвы в пределах почвенной серии сходны по материнской породе и типу водного режима; для каждой почвенной серии дано краткое описание типичного профиля (New York..., 2005).

Выделение педо-урбокомплексов (ПУК) находится в основе методики составления почвенной карты г. Братислава. ПУК - территориальные единицы, имеющие специфические биотические, абиотические и социально-экономические характеристики (тип землепользования), определяющие свойства почв. Каждый ПУК характеризуется почвенными профилями (Sobocká, 2010).

При изучении почвенного покрова г. Перми использован метод выделения урбопедокомплексов (УПК) – комбинаций почв и техногенных поверхностных образований в пределах одной функциональной зоны на одинаковых почвообразующих породах. УПК различаются историей и характером освоения территорий, хозяйственно-функциональной структурой и преобладающими в их составе почвами и ТПО (Шестаков и др., 2014; Еремченко и др., 2016).

Следует заметить, что не только для почвенного покрова городов, но и для других техногенных ландшафтов характерна высокая пространственная и профильная неоднородность почв и ТПО вследствие механического нарушения, химического загрязнения, складирования промышленных отходов и пр. Поэтому, при изучении биологической активности и токсичности почв и ТПО зоны воздействия солеотвалов мы опирались на предложенные О.З. Еремченко (Еремченко и др., 2016, Еремченко и др., 2017) представления о технопедокомплексах (ТПК) как о комбинациях почв и техногенных поверхностных образований (ТПО) на однородных элементах рельефа, одинаковых почвообразующих породах при сходном техногенном воздействии.

Таким образом, современное ландшафтное планирование урбанизированных и техногенных территорий должно учитывать разнообразие и свойства антропогенно-преобразованных почв и техногенных поверхностных образований, формирование которых определяется преимущественно типом землепользования, включающим разнообразные механические, физические и химические антропогенные воздействия. Эти новые компоненты окружающей среды классифицированы не достаточно, а выделение их ареалов затруднено из-за высокой пространственной неоднородности и частой смены почв и ТПО.

1.2. Оценка биологической активности и токсичности почв

1.2.1. Общее представление о биологической активности

По современным представлениям биологическая активность почв включает совокупность биологических процессов, происходящих в почве, для характеристики которой используют зоологические, ботанические, микробиологические, биохимические методы. Показателями биологической активности служат численность и биомасса почвенной биоты, их продуктивность, ферментативная активность почв, активность основных процессов, связанных с круговоротом элементов (азотфиксация, нитрификация и др.), некоторые энергетические данные, количество и скорость накопления продуктов жизнедеятельности почвенных организмов и многие другие процессы и явления (Хазиев, 1990; Химическое загрязнение ..., 1991; Абрамян, 1992; Казеев и др., 2003; Вальков и др., 2004; Звягинцев и др., 2005; Горбовкая, 2006).

Биологическая активность подразделяется на актуальную и потенциальную, которые не всегда совпадают между собой. Потенциальная биологическая активность – активность почвы, измеренная в искусственных лабораторных условиях, оптимальных для протекания конкретного биологического процесса. Потенциальная активность характеризует определенный тип почв и ее состояние, но ничего не говорит о реальном развитии организмов и скорости проводимых ими процессов. Актуальная (действительная, естественная, полевая) биологическая активность характеризует реальную активность почвы в естественных (полевых) условиях.

Биологическая активность рассматривается как свойство, производное от совокупности абиотических, биотических и антропогенных факторов формирования почвы. В почве фито-, зоо-, микробоценозы объединяются в целостную систему с продуктами их жизнедеятельности (в первую очередь, с

ферментами и гумусовым комплексом) и абиотическими компонентами почвенной среды (гранулометрическими и структурными элементами, физическими и водными свойствами, реакцией среды, поглотительной способностью и др.). С биологической активностью почвы тесно взаимосвязаны ее физические и химические свойства, такие как pH среды, окислительно-восстановительный потенциал, интегральным показателем биологических процессов можно считать гумусное состояние почв.

Диагностическим показателем потенциального плодородия почв, степени удобренности, окультуренности, эродированности, а также загрязненности какими-либо химическими веществами (тяжелыми металлами, нефтью, пестицидами и др.) является биохимическая активность (Казеев и др., 2003; Звягинцев и др., 2005; Колесников и др., 2011; Пилецкая, Прокопчук, 2014).

В идеале показателями биохимической активности почв должны служить какие-либо важные и всеобщие процессы, осуществляемые в почве всеми или подавляющим большинством населяющих ее организмов, например, термогенез, количество АТФ. Однако измерение таких параметров связано с разного рода сложностями. Поэтому на практике определяют интенсивность более частных процессов, таких как выделение углекислого газа, накопление аминокислот, активность ферментов, скорость нитрификации и др. (Звягинцев, 1978; Казеев и др., 2003; Qiu Li-ping and etc., 2003; Горбовская, 2006).

В биохимической активности почвы большое значение имеют почвенные ферменты. Их разнообразие и богатство делают возможным осуществление последовательных биохимических превращений, поступающих в почву органических остатков. Почва является самой богатой природной системой по ферментному разнообразию и ферментативному пулу. Разнообразие и богатство ферментов позволяет осуществляться последовательным биохимическим превращениям различных поступающих органических остатков. Ферменты отличаются исключительно высокой

активностью, строгой специфичностью действия и большой зависимостью от различных условий внешней среды.

Основные пути поступления ферментов в почву – это прижизненно выделяемые внеклеточные ферменты микроорганизмов и корней растений и внутриклеточные ферменты, поступающие в почву после отмирания почвенных организмов и растений. Ферменты, попадая из различных источников в почву, не разрушаются, а сохраняются в активном состоянии. Ферменты, являясь наиболее активным компонентом почвы, сосредоточены там, где наиболее напряженно идет жизнедеятельность микроорганизмов, то есть на поверхности раздела между почвенными коллоидами и почвенным раствором.

Значительную роль почвенные ферменты играют в процессах гумусообразования. Превращение растительных и животных остатков в гумусовые вещества является сложным биохимическим процессом с участием различных групп микроорганизмов, а также иммобилизованных почвой внеклеточных ферментов.

Ферментативную активность используют в качестве диагностического показателя плодородия различных почв, она отражает не только биологические свойства почвы, но и их изменения под влиянием агроэкологических факторов (Галстян, 1974; Gresta, Olszowskij, 1974; Купревич, 1974; Хазиев 1976, 1990; Burns, 1977; Звягинцев, 1978; Орлов и др., 1979; Абрамян, 1992; Свиренске, 2003; Каменщикова, 2011; Колесников и др., 2011; Гавриленко и др., 2013; Марцинкявичене и др., 2013; Хакунова, 2016).

Важной характеристикой биологической активности служит определение интенсивности дыхания почвы или эмиссии CO_2 , поскольку углекислый газ почвы оказывает благоприятное влияние на ее пищевой режим, являясь источником углеродного питания растений. Количество выделяемой углекислоты характеризует не только интенсивность газообмена, но и уровень общей биологической активности почвы. Выделение

углекислоты может быть объективным индикатором интенсивности разложения органического вещества почвы и позволяет охарактеризовать одну из важнейших сторон биологического круговорота веществ, также почвенное дыхание является индикатором антропогенных воздействий на почвенный покров (Ананьева и др., 1993; Каменщикова, Федотова, 2004; Кадулин, Копчик, 2013; Пуртова и др., 2013).

Изменение состава и численности микроорганизмов почвы применили как диагностический показатель при засолении почв, их агрогенной трансформации, изменения при урбанизации (Гафурова и др., 2013; Хасанова и др., 2014; Шарипов, Бегматов, 2015; Махкамова, Эргашева, 2016; Лобачев, Подольский, 2017). Важным показателем является микробная масса (Ананьева, 2003); в зависимости от типа почвы масса микроорганизмов колеблется и тесно связана с содержанием и составом органического вещества, реакцией почвенного раствора, содержанием и превращениями различных загрязняющих веществ в почве.

Животные являются неотъемлемой частью биогеоценозов. Почвенный зоологический мир по многообразию значительно превосходит мир наземных животных. В почве обитает огромное количество видов простейших, червей, насекомых и их личинок, многоножек, клещей, ногохвосток, мокриц и др. Вся их жизнедеятельность и жизнеобитание взаимообусловлены между собой и экологическими факторами. Численность и видовой состав почвообитающих животных может служить диагностическим показателем степени оккультурности почв. Под влиянием антропогенных факторов, в частности распашки земель, использования пестицидов, нефтяного, промышленного и других форм загрязнения окружающей среды, видовое разнообразие и численность почвенной фауны снижается. Почвенные беспозвоночные, питаясь живыми и отмершими растениями, накапливают в себе многие привнесённые в биоценоз вещества, являющиеся побочным продуктом промышленной деятельности человека, поэтому они могут служить хорошими индикаторами

токсичности почв (Гиляров, 1965; Криволуцкий, 1994; Гиляров, Криволуцкий, 1995; Миноранский, 1996; Сущук, Груздева, 2011; Романенко, 2013; Ильин и др., 2017).

В научной литературе имеется обилие примеров по использованию других показателей биологической активности, например, скорости разложения целлюлозы и других соединений, накопления аминокислот, интенсивности нитрификации, азотфиксации и т.д. Следует отметить, что для оценки биологической активности почвы считают недостаточным изучение одного показателя, так как каждый из них отражает лишь какую-то одну сторону происходящих биологических процессов.

1.2.2. Тестирование почвенной токсичности

Токсичность почв вызывают многие причины: развитие фитотоксичных грибов, аллелопатические продукты жизнедеятельности высших растений, накопление ксенобиотиков и тяжелых металлов. Токсины в малых концентрациях подавляют рост и развитие растений и животных, а в больших концентрациях - и микроорганизмов. Уровень накопления загрязнителей в городских, техногенных и сельскохозяйственных почвах традиционно определяется с использованием физико-химических и химических методов. Однако с помощью этих методов невозможно обнаружить все загрязняющие почву вещества – как из-за их разнообразия, так и из-за сложных химических взаимодействий между загрязнителями и природными соединениями. Кроме того, аналитические методы контроля констатируют лишь сам факт загрязнения, но не дают информации о влиянии выявленного загрязнения на живые организмы (Багдасарян, 2005).

Наиболее целесообразным методом определения интегральной токсичности почвы является биотестирование, в основе которого лежит определение реакции живых организмов на уровень техногенного воздействия и содержание загрязняющих веществ в субстрате. Кроме того, биотестирование дает возможность получать объективную информацию о состоянии почвы при минимальных материальных и физических затратах, без использования сложных и дорогостоящих аналитических методов (Мелехова, Сарапульцева, 2008; Бардина и др., 2013).

Принцип биотестирования в широком смысле основан на чувствительности живых организмов к экзогенному воздействию. Суть метода заключается в определении действия испытуемых веществ на специально выбранные организмы в стандартных условиях с регистрацией различных поведенческих, физиологических или биохимических тест-реакций. Тест-реакцию (или тест-функцию) определяют как одну из закономерно возникающих ответных реакций тест-системы на воздействие

комплекса внешних факторов. Таким образом, изменение выбранной тест-функции организма при его взаимодействии с почвенной пробой служит показателем токсичности. Следует отметить, что успешное применение биотестирования для диагностики состояния экосистемы во многом зависит от правильного подбора тест-объекта.

В качестве тест-организмов, могут быть использованы как животные и растения, так и микроорганизмы. Большинство исследователей полагает, что применение единственного биологического параметра для целей биотестирования ненадежно из-за разнообразных механизмов отклика тест-организма на различные антропогенные загрязнения (Селивановская, Латыпова, 2004; Багдасарян, 2005; Лисовицкая, Терехова, 2010).

Наиболее очевидными критериями выбора тест-организмов являются простота работы и точность получаемых в результате тестирования данных. Под простотой понимается легкость выделения тест-организма из природных источников, его хранения, размножения, постановки пробы на токсичность, обработки и интерпретации полученных результатов. Точность в данном случае – это наличие однозначных, ярко выраженных изменений тестируемой функции индикаторного организма в результате воздействия интересующего загрязнителя.

Для оценки токсичности почв и грунтов применяют элюатное и субтатное, или контактное, биотестирование. В основе элюатного лежит оценка почвенных водных вытяжек, вторые оценивают почвенные пробы путем проращивания семян растений. При этом эталонным объектом, относительно которого оценивается токсичность, в большинстве случаев является дистиллированная вода. Однако водная вытяжка из почвы не способна адекватно отразить условия функционирования биоты, в формировании которых участвуют все компоненты органоминеральной системы почв; постановка фитотеста на водных вытяжках может давать заниженные результаты токсичности (Бакина и др., 2004). Так, по данным Н.В. Маячкиной и М.В. Чугуновой (2009), результаты определения

токсичности почв и их водных вытяжек методом биотестирования в некоторых случаях существенно отличались. Токсичность почв, определяемая методом проращивания семян высших растений, была выше, чем токсичность водных вытяжек из почв, определяемая на традиционных для водной токсикологии тест-объектах. Разница результатов была особенно велика при загрязнении почв токсикантами, малорастворимыми в воде (например, нефтью).

По мнению ряда исследователей, адекватную оценку токсичности почв и грунтов обеспечивает субстратное, или контактное биотестирование. Этот способ обеспечивает непосредственный контакт тест-организма с исследуемым образцом и, таким образом, позволяет установить уровень воздействия загрязнителей (Фомин, Фомин, 2001; Селивановская, Галицкая, 2006; Лисовицкая, Терехова, 2010; Терехова, 2011).

Высшие растения служат важнейшими тест-культурами, т.к. являются основой трофических и энергетических отношений в биоценозе. Интегральным и наиболее важным показателем качества почв служит состояние и биомасса произрастающих на них растений (Терехова, 2011). Чувствительность растений к внешним воздействиям проявляется в изменении биохимических реакций и отражается в морфологических параметрах роста и развития. Принцип метода фитотестирования заключается в регистрации данных параметров у растительных организмов, развивающихся в испытываемых пробах по сравнению с контрольными вариантами, не содержащими тестируемых веществ. Основу метода фитотестирования составляет способность растений реагировать на изменение условий среды, что позволяет оценивать токсичность или биоактивность различных объектов (Терехова, 2011; Николаева, Терехова, 2017). Метод актуален в модельных исследованиях по нормированию загрязняющих веществ (Шагидуллин и др., 2011), а также для выявления биоактивности различных химикатов и промышленных отходов (Chaignon,

Hinsinger, 2003; Edson et al., 2007; Fuleky, Barna, 2008; Кузнецов и др., 2012; Терехова, Гладкова, 2014; Бардина и др., 2016).

Согласно международным стандартам ISO 11269-1 и ISO 11269-2 (по Николаевой, Тереховой, 2017) тест-культура выращивается в условиях непосредственного контакта с тест-объектом. При этом контрольная почва и испытываемая почва должны быть как можно больше похожи друг на друга по структуре и составу (за исключением исследуемых химикатов и загрязнителей).

Очевидно, что реакция тест-растений складывается из собственно реакции на поллютанты и реакции на факторы среды. Выявлена зависимость между содержанием органического вещества и фитотоксичностью (Czerniawska-Kusza et al., 2006). Обнаружена связь токсичности с гранулометрическим составом; фитотоксичный эффект в легких почвах был выше, чем в тяжелых (Лисовицкая, Терехова, 2010).

Фитотестирование как метод оценки почв используется издавна для определения плодородия почв сельхозугодий, и относительно недавно в природоохранной сфере для оценки экологического качества природных сред (вод, почв). Фитотесты можно объединить в три группы методов: лабораторные, вегетационные и микроделяночные. Особую актуальность в экологической оценке приобретают лабораторные методы, как наиболее экспрессные и экономичные (Лисовицкая, Терехова, 2010).

О.В. Николаевой и В.А. Тереховой (2017) предложены критерии выбора тест-культур: 1) они должны быть характерны для климатической зоны, в которой проводится тестирование; 2) быть важны в трофической цепи (источник пищи, ареал обитания) и в экологических процессах (азотфиксация, закрепление грунта и др.); 3) характеризоваться незначительной межвидовой вариацией в отклике; 4) иметь способность к размножению; 5) произрастать в почве (грунте); 6) характеризоваться сходными физиологическими особенностями по отношению к целевому

растению; 7) подходить для фитотестирования как в полевых, так и в лабораторных условиях.

Поскольку уровень устойчивости разных видов сильно варьирует, рекомендуется использовать несколько тест-культур (Лисовицкая, Терехова, 2010; Заболотских и др., 2012; Николаева, Терехова, 2017).

О.В. Николаевой и В.А. Тереховой (2017) проведен анализ стандартов зарубежных организаций по фитотестированию, в число которых входят Международная организация по стандартизации – ISO, Агентство по охране окружающей среды США – US EPA, Организация экономического сотрудничества и развития – OECD. Стандартом ISO рекомендовано использование серии из двух растений – однодольного (овес) и двудольного (турнепс), помимо этого имеется альтернативный перечень список разрешенных растений.

Согласно рекомендациям US EPA, тестирование осуществляется на десяти культурных видах растений – шести двудольных и четырех однодольных. Выбор данных тест-культур связан с их чувствительностью к широкому спектру поллютантов и историческим использованием. Список растений также может быть дополнен в связи с географическими аспектами обитания растений.

В документах OECD не указывается точное количество тест-культур для реализации фитотестирования и оно определяется исследователем. В списке рекомендованных представлены 23 двудольных. К растениям предъявляются требования чувствительности к широкому спектру поллютантов, информативности, способности давать надежные результаты.

В методике фитотестирования, разработанной бельгийскими авторами (Czerniawska-Kusza et al., 2006), используются три вида тест-растений: одно однодольное – сорго сахарное и два двудольных – кресс-салат и горчица белая.

Согласно государственному стандарту ГОСТ Р ИСО 22030:2005 (Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших

растений) необходимо использовать два растения, однодольное и двудольное, а данном случае в качестве однодольного растения рекомендуется овес, в качестве двудольного - редька масличная.

Для определения токсичности техногенно загрязненных почв разработана методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений (ФР.1.39.2006.02264 М-П-2006). Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 22030:2005 «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая токсичность высших растений» (ISO 22030:2005 «Soil quality. Biological methods. Chronic toxicity in higher plants»).

Методические рекомендации (МР 2.1.7.2297-07) «Обоснование класса отходов производства и потребления по фитотоксичности» в качестве тест-растения рекомендуют овес.

Во многих работах отечественных и зарубежных авторов (по Лисовицкая, Терехова, 2010) показана эффективность применения семян кресс-салата. Данная тест-культура была информативной при загрязнении исследуемых объектов поллютантами различных типов (тяжелыми металлами, углеводородами, радиоактивными веществами и др.) и при комплексном загрязнении.

При экологической оценке нефтезагрязненных бурых лесных почв Е.И. Ковалевой и др. (2015) в качестве тест-культуры были использованы ячмень обыкновенный и горчица белая. Показателями токсичности являлись энергия прорастания семян и длина корней (Ковалева и др., 2015).

При оценке токсичности городских почв, содержащих в повышенных количествах тяжелые металлы (кадмий, медь, свинец, цинк, никель, хром, кобальт и др.), Е.В. Шунелько и А.И. Федорова (2002) провели ряд опытов по биотестированию методом проростков тест-растений. В качестве чувствительных организмов к токсикантам авторы использовали кресс-салат, пшеницу, овес. Оказалось, что кресс-салат является наиболее

чувствительным к загрязнению свинцом, пшеница к загрязнению кадмием и цинком.

В.Ф. Вальков с соавторами (1997) исследовали воздействие кадмия, цинка, меди, ртути и свинца в количестве 1, 10, 100 ПДК на чернозем через семь суток, один и шесть месяцев после загрязнения. О степени фитотоксичности авторы судили по всхожести, энергии прорастания, скорости прорастания, а также по длине корней, длине зеленых проростков, воздушно-сухой массе корней и зеленых проростков. В качестве тест-объекта использовали озимую пшеницу ввиду ее широкого сельскохозяйственного применения. Авторы отмечают, что благодаря таким свойствам чернозема обыкновенного, как высокое содержание гумуса, нейтральная среда и др. даже при значительном загрязнении тяжелыми металлами часто не проявлялось фитотоксическое действие. Наиболее информативными показателями при загрязнении являлись показатели длины и массы корней пшеницы.

Р.Ф. Гарипова и А.Ж. Калиев (2004; 2009) проводили биотестирование водных вытяжек почв земледельческих полей орошения Оренбургского газохимического комплекса. В качестве тест-объектов растительного происхождения использовали лук репчатый и редис посевной. При биотестировании на редисе использовали такие показатели, как длина корня, длина стебля, длина всего растения. У второго модельного организма-лука репчатого учитывали митотическую активность. Выяснилось, что почвы земледельческих полей орошения обладают фитотоксическими и мутагенными свойствами.

В серии многолетних исследований для фитотестирования урбаноземов г. Воронежа И.Д. Свистова с соавторами (2003) и Н.Н. Назаренко и др. (2015) использовали в качестве тест-организма редис. О фитотоксичности почв судили по всхожести семян и росту корня модельного организма.

С целью оценки экологической целесообразности использования осадков сточных вод в качестве удобрений, а также определения токсичности

этих вод и почв под их воздействием Ю.С. Ананьевой и А.С. Давыдовым (2009) были использованы овес и пшеница. Измеряемыми параметрами служили длина ростков и корней.

Представляет интерес зональный подход к выбору тест-организмов, который обосновывается в публикациях по анализу фитотоксичности загрязненных черноземов. Авторы в качестве тест-культуры предлагают использовать семена наиболее характерных для типа почв возделываемых культур; в частности, для экотоксикологической оценки черноземов используют семена пшеницы (Колесников и др., 2006).

Неблагоприятное воздействие на тест-систему должно проявиться в изменении выбранных параметров. Такими тест-параметрами являются всхожесть семян, энергия прорастания, дружность прорастания, длина корней, длина проростков, биомасса в сыром и высушенном виде, длина растения с корнем (Лисовицкая, Терехова, 2010; Николаева, Терехова, 2017). Некоторые исследователи не ограничиваются морфологическими изменениями, захватывают биохимические реакция (Еремченко и др, 2014а, 2014b), мутагенное воздействие (Гарипова, Калиев, 2004; 2009).

Фитотестирование – это не только метод оценки токсичности почв, а критерий устойчивости почв к загрязнению (Колесников и др., 2010; Тимофеев и др., 2010; Еремченко, Митракова, 2016; Кузина и др., 2016). Чем слабее реакция тест-культуры на загрязнение, тем выше устойчивость почв к данному виду токсикантов. Почва, сохранившая на фоне загрязнения свои экологические функции по обеспечению роста и развития растений, будет более устойчивой, чем загрязненная почва, на которой растения заметно снизили биометрические показатели.

Таким образом, в настоящее время отмечается разнообразие мнений и подходов к выбору тест-культур при оценке биологической активности и токсичности почв. Зарубежные методики более универсальны и предполагают применение ряда тест-культур к широкому спектру почв и веществ. В отечественной практике отмечается специфичность методик к

тест-объекту: каждая методика разрабатывается для конкретного тест-объекта: агропочвы, отходов производства, техногенно-загрязненных почв.

В рассмотренных методах фитотестирования предполагается, как правило, полная аналогия по комплексу свойств между загрязненными и незагрязненными почвами; данное условие невыполнимо при изучении состояния антропогенных почв и ТПО урбанизированных и техногенных ландшафтов, которые не имеют природных аналогов.

ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Характеристика территории и объектов исследований

Пермский край расположен на восточной окраине Русской равнины и западном склоне Уральских гор. По внешнему очертанию он представляет собой почти правильный прямоугольник, вытянутый в меридиональном направлении. Максимальная протяженность с севера на юг 645 км, с запада на восток - около 420 км. Регион почти полностью расположен в бассейне реки Камы. Значительная протяженность края определяет различия в геологическом строении, климате, рельефе, почвенном покрове, растительном и животном мире (Назаров, 2011).

По строению поверхности территорию можно разделить на две части: западную, которая является слабоприподнятой, сильно эродированной частью Русской равнины, и восточную, состоящую из предгорий и западных хребтов горной полосы Урала. Переход от равнинной части к горной выражен в резком усилении контрастности рельефа. В восточной части края широкое развитие получили карстовые формы рельефа.

Горная часть региона включает в себя западный склон Урала и отдельные фрагменты его центральных осевых хребтов с высотными отметками от 300-400 м до 600-800 м и более. Негорная часть составляет около 80% всей площади, представлена приподнятой холмисто-увалистой равниной со средними высотами 200-400 м над уровнем моря, на которой выделяется несколько возвышенностей (Назаров, 2006).

Пермский край относится к зоне умеренных широт, входит в состав Атлантико-континентальной области. Климат территории континентальный с продолжительной холодной и многоснежной зимой и умеренно-теплым сравнительно коротким летом.

Средние месячные температуры воздуха в Прикамье имеют выраженный годовой ход с максимумом в июле и минимумом в январе. На

севере области средняя годовая температура составляет $-0,7^{\circ}\text{C}$, средняя месячная максимальная – $+15,9^{\circ}\text{C}$, минимальная – $-17,4^{\circ}\text{C}$. Эти же показатели для южной части Прикамья составляют $+2,1$, $+18,4$ и $-14,6^{\circ}\text{C}$ соответственно. (Назаров, 2006).

На режим и количество атмосферных осадков наиболее значительное влияние оказывают два фактора: атмосферная циркуляция, с которой связано перемещение циклонов, и наличие Уральских гор, усиливающих выпадение атмосферных осадков в восточной части региона. Среднее годовое количество осадков изменяется от 450 мм на западе и юго-западе до 1000 мм в горах на северо-востоке региона. Около 70% их количества приходится на период с апреля по октябрь и примерно 30% - на ноябрь-март.

Наибольшая за зиму высота снежного покрова в отдельные годы может существенно разниться. Так, на юге Прикамья минимальные значения составляют всего 36 см, а максимальные – 103 см (среднее значение – 65 см). На севере же региона эти же показатели составляют соответственно 50 см и 159 см (среднее значение – 89 см). Средняя месячная глубина промерзания почвы нарастает от ноября к марту. Увеличение глубины промерзания происходит в направлении с юга на север: в Чернушке средняя месячная глубина промерзания в марте – 67 см, в Перми – 89 см, в Кудымкаре – 107 см. Максимальная глубина промерзания может достигать 175 см (Чердынь, 1967 г.).

Ветровой режим определяется синоптическими процессами, а также особенностями подстилающей поверхности и открытостью места. Наибольшие значения наблюдаются в марте-мае и в октябре-ноябре. В эти периоды среднемесячная скорость может достигать 3,2-4,8 м/с. Минимальные скорости ветра отмечаются летом (в июле-августе) - 2,2-3,4 м/с (Назаров, 2006).

На территории Пермского края, в связи с неоднородностью рельефа, почвообразующих пород и растительности, наблюдается значительное разнообразие почв (Коротаев, 1962; Еремченко и др., 2016). Почвенно-

экологическое районирование территории (Карта почвенно-экологического..., 1997) включает Камско-Верхневыхгодскую, Вятско-Камскую, Прикамскую почвенные провинции и Уральский почвенный округ (рис. 1).

Объекты исследований расположены в 3-х почвенных провинциях: в Кунгурской лесостепи (Прикамская почвенная провинция), на территории города Пермь (Вятско-Камская провинция), территории и окрестности городов Соликамск и Березники (Камско-Вычегодская провинция).

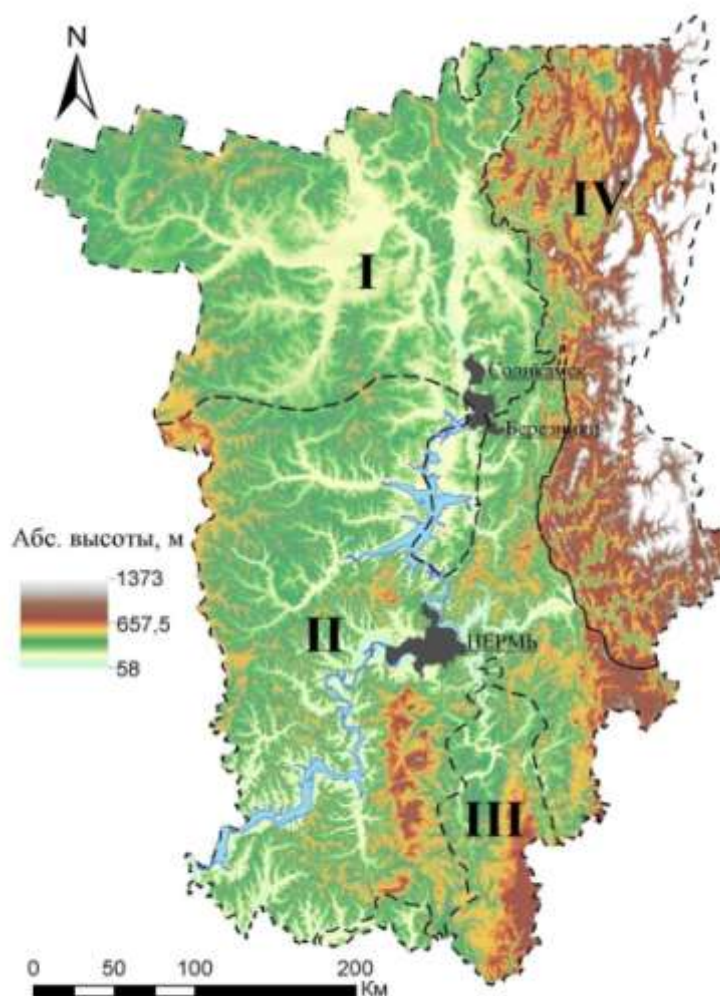


Рис. 1. Почвенно-экологическое районирование территории Пермского края: I – Камско-Верхневыхгодская почвенная провинция, II – Вятско-Камская почвенная провинция, III – Прикамская почвенная провинция, IV – Уральский почвенный округ (Еремченко и др., 2016)

2.1.1. Природные условия и объекты исследований в Кунгурской лесостепи

Кунгурская лесостепь своим местоположением соответствует северной оконечности Уфимского плато (Сылвенский кряж). Территория Иренско – Кунгурского ландшафта выделена в вид возвышенных платформенных равнин, платообразных слаборасчлененных на нижнепермских гипсах, известняках и доломитах (Назаров, 1996).

Нижнесылвинский гидрологический округ включает в себя почти весь бассейн р. Сылвы и верховья некоторых малых рек (р. Быстрый Танып, Тюй, Атер, Сарс), несущих свои воды на юг. Густота речной сети варьирует в больших пределах – от самых низких по краю – $0-0,2 \text{ км/км}^2$ (Уфимское плато) до средних и высоких – $0,4-1,0 \text{ км/км}^2$ (на остальной части). Воды рек бассейна Сылвы, сливаясь вместе при многоводной дружной весне способствуют резкому поднятию уровней воды. Зимой реки иногда перемерзают, летом часто пересыхают или сильно мелеют (Назаров, 2006)

Грунтовые воды в значительной степени минерализованы, обогащены карбонатами (Коротаев, 1962).

Преобладающими почвообразующими породами являются элювиально-делювиальные отложения, возникающие в результате совместного действия на пермские породы физического и химического выветривания со смывающей работой дождевых и талых вод. По механическому составу элювиально-делювиальные отложения в большинстве случаев являются глинами и редко тяжелыми суглинками, чаще слабокарбонатными (Коротаев, 1962).

В соответствии с данными электронного ресурса (Филькин и др., 2014) общая площадь почвенной провинции составляет 9806 км^2 . Доля черноземов глинисто-иллювиальных, темно-серых и серых почв в провинции проиллюстрирована на диаграмме (рис. 2). Категорию «прочие почвы»

составляют дерново-подзолистые почвы, серогумусовые почвы на элювии пермских пород и почвы речных долин (аллювиальные).

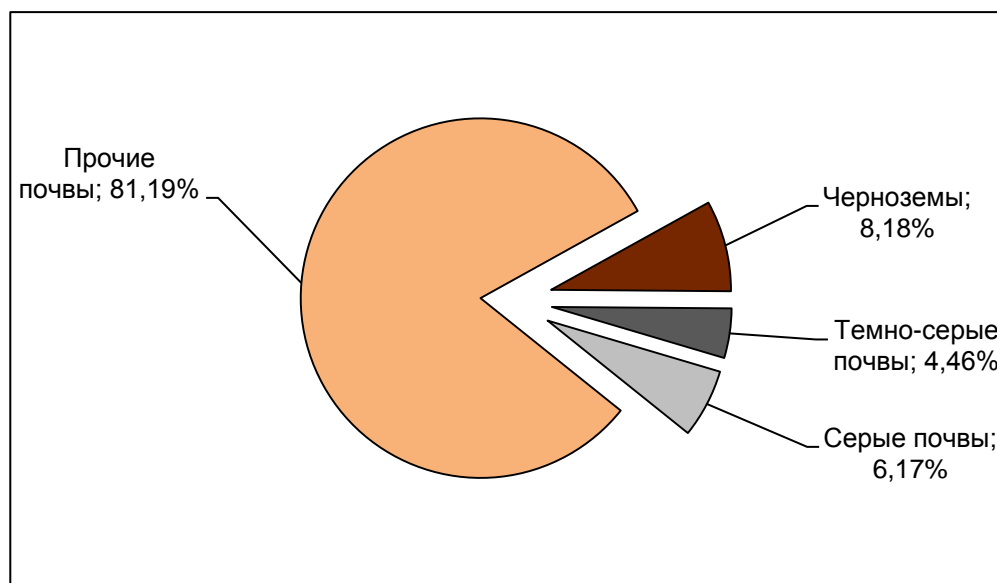


Рис.2. Соотношение почв в лесостепной провинции

Высокая степень распашки плодородных почв (до 72 % занимаемой площади) и повсеместное развитие водной эрозии позволяют рассматривать черноземы и серые почвы, как находящиеся под угрозой исчезновения, и рекомендовать к особой охране (Еремченко и др., 2010).

По С.А. Овеснову (2000, 2009) район островной лесостепи расположен в полосе широколиственно-елово-пихтовых лесов. Небольшие островки лесов сохранились лишь по холмам. Это преимущественно березовые и осиновые с участием липы и ильма леса и сосновые с примесью лиственницы сибирской, часто с липой в подлеске, травяные леса. Для высоких коренных берегов рек характерны известняковые обнажения, именуемые «камнями», чередующиеся с задернованными участками, покрытыми луговой и лесной растительностью. Степные участки встречаются как на выровненных водоразделах, так и на склонах. Район сильно окультурен, сельскохозяйственные земли занимают 40-50% общей площади, тогда как лесопокрытые земли – только 10-20%.

Объектами исследований с целью разработки метода фитотестирования являлись образцы почв из темногумусовых горизонтов глинисто-иллювиального чернозема и темно-серой почвы, из серогумусового и субэлювиального горизонтов серой почвы, из серогумусового горизонта дерново-подзолистой почвы, из гумусового слабо развитого горизонта псаммозема гумусового. Морфологическое описание почв и агрохимические показатели поверхностных горизонтов по данным О.З. Еремченко и др. (2010) приведены в приложении 2,3.

В темногумусовом горизонте чернозема содержание гумуса высокое – 9,6-13,0 %, на глубине около полуметра содержалось еще 4 % гумуса. Почва имела слабокислую реакцию почвенного раствора до глубины 50 см. Темногумусовый горизонт отличался относительно высокой гидролитической кислотностью – 6,7-12,3 мг-экв/100 г с максимальной величиной в его верхней части. Чернозем имел высокую емкость катионного обмена, степень насыщенности основаниями – около 80 %.

Для темно-серой почвы характерно высокое содержание гумуса в темногумусовом горизонте (около 10 %) и резкое падение в субэлювиальном. При высокой ёмкости катионного обмена в верхнем горизонте отмечено ее уменьшение в 2 раза в субэлювиальном горизонте. Реакция почвенного раствора слабокислая; гидролитическая кислотность максимальна в темногумусовом горизонте при наименьшей степени насыщенности основаниями.

В верхних горизонтах серой почвы содержание гумуса составляло 6-7 %. Установлена кислая реакция почвенного раствора и значительная гидролитическая кислотность. Степень насыщенности составляла 81-85 %.

У дерново-подзолистой почвы в серогумусовом горизонте (0-12 см) содержалось 4,3 % гумуса, элювиальном – всего 1,4 %. Реакция почвенного раствора кислая, обменная и гидролитическая кислотность – высокие. Степень насыщенности основаниями 47-62%.

Содержание гумуса в верхнем горизонте (0-8 см) псаммозема гумусового – 5,7%, ниже его содержание падает в 2 раза, затем резко уменьшается. У псаммозема значительно выражена актуальная и обменная кислотность (4,05 и 3,3 соответственно), сравнительно небольшая гидролитическая кислотность, обусловленная низкой ёмкостью катионного обмена песчаной почвы (Еремченко и др., 2010).

Объектами исследований с целью совершенствования метода фитотестирования были темно-серая и агротемно-серая легкоглинистые почвы из окрестностей ООПТ «Спаская и Подкаменная горы» (рис. 3). Для этого было заложено 5 прикопок в березово-осиновом лесу на темно-серой почве и 5 прикопок – на залежной агротемно-серой почве.

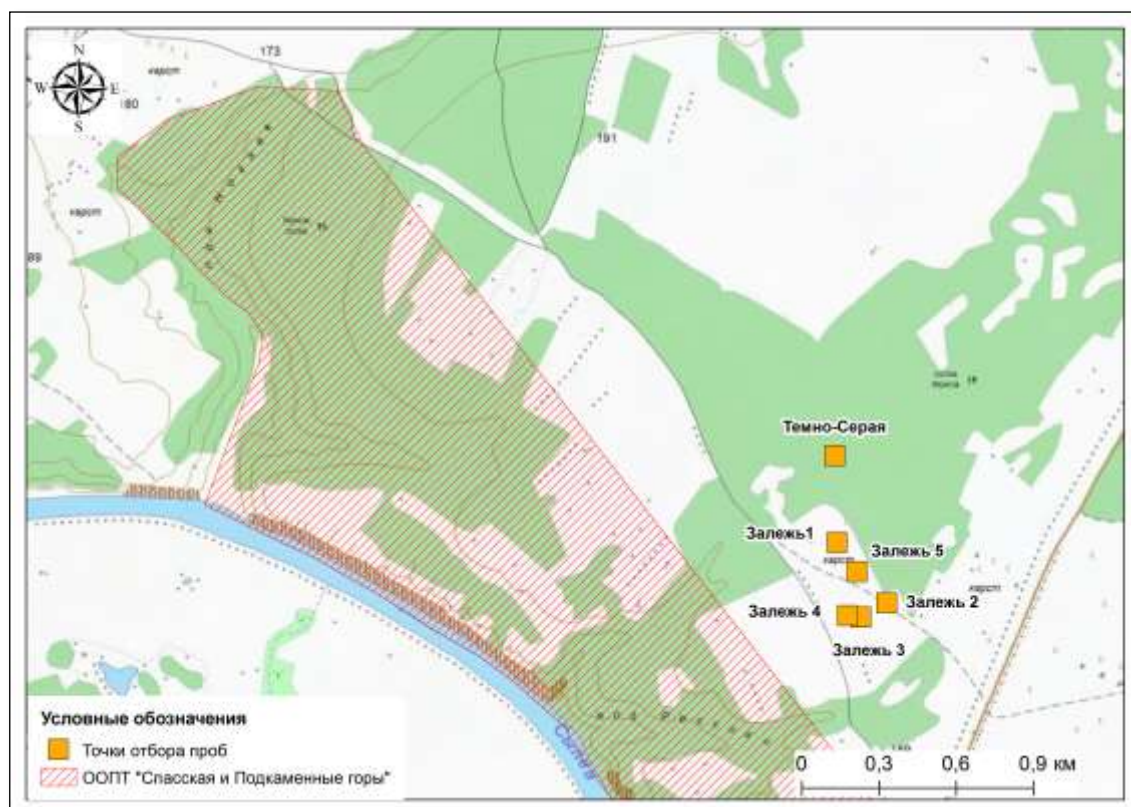


Рис. 3. Расположение точек отбора почвенных проб на темно-серых почвах

Морфологическое описание темно-серой почвы данного ареала, а также описание верхних горизонтов агротемно-серой почвы представлены в приложении 2.

Для исследований использованы пробы темногогумусового горизонта по глубинам 2-12, 12-22 и 22-32 см и агротемно-гумусового горизонта по слоям 0-10, 10-20, 20-30.

2.1.2. Экологические условия и объекты исследований в городе Перми

Город Пермь расположен на западе Пермского края, в пределах денудационной равнины Предуралья. Равнина, слабо понижаясь к западу, сильно расчленена р. Камой и ее многочисленными притоками (Гужева и др., 1947).

Территория города Перми включена в Ласьвинско-Мулянский южно-таежный ландшафт, выделенный в вид низменных древнеаллювиальных песчаных и суглинистых платформенных равнин (Назаров, 2006).

Гидросеть города представлена системой рек, речек и ручьев бассейна р. Камы, озерами, болотами и заболоченными участками. Природные параметры русла реки изменены созданными на ней Камским и Воткинским водохранилищами. Наиболее крупным притоком Камы является р. Мулянка; менее протяженные речки – Данилиха, Егошиха, Ива, Мотовилиха, Язовая, Хохловка, и совсем короткие – речки Балмошная, Резвянка и др. Несколько озер и болото Красава расположены на пойме р. Камы в ее излучине (Мазур, 1955; Сунцев и др., 2000).

Антропогенное вмешательство в гидросферу выражается в приспособлении природной дренажной сети и искусственных каналов стока к сбрасыванию сточных вод. Из-за ослабления транспирации (вследствие запечатанности территории) поверхностный сток аномально высок, а подземный ниже нормы. В результате нарушений условий водообмена и дополнительных утечек вод формируются техногенные водоносные горизонты, возникают зоны повышенной агрессивности вод, изменяются условия питания и разгрузки грунтовых вод. Это активизирует такие процессы и явления, как суффозия, оползни, заболачивание, просадочность и т. д. (Быков и др., 2001).

На рассматриваемой территории под покровом четвертичных отложений залегают осадочные образования иренской свиты кунгурского

яруса (нижняя пермь), Соликамского и шешминского горизонтов уфимского яруса (верхняя пермь). Иренская свита, представленная гипсами с прослоями глин, мергелей и доломитов лунежской пачки. Соликамский горизонт подразделяется на два подгоризонта: нижний и верхний. Нижний представлен преимущественно карбонатными породами: известняками, часто глинистыми, доломитизированными, мергелями, доломитами, реже песчаниками. Верхний подгоризонт сложен преимущественно терригенными породами: песчаниками, алевролитами, аргиллитами с прослоями известняков и мергелей. Породы шешминской свиты имеют большую мощность (350 м) и представлены несколькими слоями: алевролитоглинистый, алевролитоглинистый и алевролитопесчанистый (Лебедев, 1996).

В левобережной части города основное распространение получили надпойменные террасы. Четвертичные отложения в большинстве случаев представлены водно-ледниковыми и древнеаллювиальными песками и супесями. На верхних террасах и коренных склонах распространены также делювиальные суглинки и глины; выходы коренных пород на поверхность незначительны по протяжённости. Берег Камы низкий, пологий, местами заболоченный, с неясно выраженной береговой линией. Правый Камы крутой, широко развиты коренные породы (Коротаев, 1962; Карта четвертичных отложений..., 2000).

По почвенному районированию Н. Я. Коротаева (1962) город расположен в Осинско-Оханско-Пермском районе дерново-средне, слабо- и сильно-подзолистых тяжелосуглинистых почв. В соответствии с реконструированной картой почвенного покрова левобережья города на коренном склоне и высоких террасах, по склонам долин мелких рек и овражной системы среди дерново-подзолистых почв встречались ареалы серогумусовых и темногумусовых почв на элювии коренных пород. На нижних камских террасах были сформированы псаммоземы, перегнойно-

глеевые почвы, дерново-элювоземы, а поймах рек – аллювиальные почвы (Еремченко и др., 2016).

Территория города Перми входит в ботанико-географический район широколиственно-елово-пихтовых лесов, занимающих южную часть области. Древесный ярус этих лесов состоит из 2–3 подъярусов, причем основу 2-го и 3-го подъярусов составляют широколиственные породы липы, вяза, клена. Кустарниковый ярус, как правило, хорошо развит. Травяной покров обычно сплошной, высокий и состоит из 3 (4) подъярусов; в нем значительна доля папоротников и крупнотравья, кустарнички практически отсутствуют. Моховой покров развит слабо (Овеснов, 2009).

Структура растительного покрова городов складывается из естественных фитоценозов, искусственных насаждений, рудеральных ассоциаций (Почва, город..., 1997; Артамонова, 2002). По данным инвентаризации (2001) в Перми леса, примыкающие к жилой застройке, не ухожены и сильно загрязнены. Непосредственно в жилой части доминируют искусственные растительные группировки (парки, скверы, посадки во дворах, газоны и др.) (Состояние окружающей..., 1996, 1997).

Пермь – крупный промышленный центр. По площади (799.68 км²) город занимает третье место в России. Его застройка вытянута более чем на 65 км вдоль Воткинского и Камского водохранилищ (Состояние окружающей..., 1997).

Город основан в 1724 г. как поселок при Егошихинском медеплавильном заводе. Нынешний центр города сначала занимали в основном деревянные двух-, трехэтажные дома. Современный облик город принял в 30–70 гг. XX в., была проведена реконструкция старой части; новые районы застроены на месте бывших деревень и соснового бора. В настоящее время основной массив промышленной и жилой застройки находится на левом берегу, здесь же размещен и общественный центр города.

Пермь – крупный центр тяжелой и химической промышленности, производится оборудование для металлургической, горнодобывающей и

лесной промышленности, электротехнические изделия, авиамоторы, станки, товары широкого потребления и др.

Почвенный покров города характеризуется сложной мозаичной структурой, обусловленной частой сменой почв и почвоподобных образований, поэтому рекомендовали (Шестаков и др., 2014) выделять урбопедокомплексы (УПК) – комбинации почв и техногенных поверхностных образований в пределах одной функциональной зоны на одинаковых почвообразующих породах. Морфологическое строение и описание основных почв и ТПО жилых районов по О.З. Еремченко и др. (2016) приведено в приложении 5.

Объектами исследований были почвы и ТПО некоторых селитебных районов. Для экологической оценки почвенного покрова были выделены 4 ключевых участка (КУ): КУ-1 в УПК на элювиально-делювиальных суглинках; КУ-2 в УПК на песчано-супесчаных породах древнеаллювиального происхождения; КУ-3 в УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями; КУ-4 в УПК на аллювиальных породах. Расположение ключевых участков отмечено на рис. 4, точек отбора проб в КУ – в приложении 4.



Рис. 4. Схема расположения ключевых участков в г. Перми

В 2014-2016 гг. было отобрано 75 проб из поверхностных слоев почв и ТПО. Диагностику почв и ТПО провели в прикопках глубиной 0-30 см, пробы отобраны с трех стенок прикопки на глубину 0-15 см (на квазиземах – 0-10 см). При диагностике использовали классификацию городских почв (Прокофьева и др., 2014) и диагностические признаки почв и ТПО по О.З. Еремченко и др. (2016) (приложение 5).

КУ-1 в УПК на элювиально-делювиальных суглинках расположен в центральном наиболее старом микрорайоне г. Перми (краткая история микрорайона в приложении 6). В 28-ти прикопках были диагностированы два типа почв: урбостратозем, урбостратозем-торфяно-эутрофированный, и два ТПО: квазизем компостно-гумусовый и квазизем торфяной.

Урбостратоземы характеризовались присутствием синлитогенного горизонта урбик, залегающего на техногенном горизонте, погребенных горизонтах или на подстилающей породе. Урбостратозем торфяно-эутрофированный имел темно-окрашенный урбик, который образован в результате отсыпки на поверхность низинного торфа; под которым расположен техногенный горизонт, погребенные горизонты почв или подстилающая порода.

Квазизем компостно-гумусовый образуется за счет отсыпки низинного торфа на поверхность минерального грунта, при этом органическое вещество разбавлено минеральным материалом и частично гумифицировано. Квазизем торфяной образован за счет недавней отсыпки низинного торфа на поверхность минерального грунта, при этом органическое вещество сохранило вид и состояние торфа.

Территория КУ-2 входит в УПК на песчано-супесчаных породах древнеаллювиального происхождения. Район выстроен на месте соснового бора; природные почвы были представлены псаммоземами и другими песчаными почвами, слабодифференцированный профиль которых быстро разрушился в урбогенезе. Заболоченные участки засыпали речным грунтом (приложение 6). В 15-ти прикопках КУ-2 диагностированы два типа почв:

урбостратоземы, урбостратоземы торфяно-эутрофированные, три типа ТПО: квазизем компостно-гумусовый, квазизем торфяной и литострат.

Литострат представлял собой относительно «свежий» насыпной минеральный грунт, без признаков почвообразования и окультуривания; для него характерен изреженный несформированный растительный покров.

КУ-3 находится в пределах УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями. В 15-ти прикопках КУ-3 были выявлены собственно урбостратоземы и три ТПО: квазизем компостно-гумусовый, квазизем торфяной и литострат.

В КУ-4, расположенном в УПК на аллювиальных породах, было выделено два типа урбостратоземов.

2.1.3. Экологические условия и объекты исследований зоны воздействия солеотвалов и шламохранилищ

Территория и окрестности городов Березники и Соликамска относятся к Яйвинскому ландшафту, представляющий собой среднетаежный ландшафт возвышенных платформенных равнин холмистых ледниково-эрозионных часто с покровными суглинками на верхнепермских и мезозойских терригенных и терригенно-карбонатных породах (Назаров, 2006).

Город Березники расположен на левом берегу р. Камы, где спокойный рельеф и пологий наклон в западном и юго-западном направлениях. Соликамск находится в зоне Предуральского краевого прогиба у левых притоков Камы – рек Усолки и Боровой. Рельеф ледниковый, сглаженно-увалистый, склоны увалов пологие, во многих местах развиты болота.

Гидросеть территории представлена системой рек, речек и ручьев, озерами, болотами и заболоченными участками. Характерные черты здешних водотоков - мощные толщи легко размываемых аллювиальных накоплений, очень небольшие перепады высот, низкие речные берега и широкие долины, извилистость русла (Назаров, 2006).

Березники находится в зоне отложений казанского яруса верхней перми, которые представлены красно-бурыми и коричнево-бурыми мергелистыми глинами, переслаивающимся серыми и зеленовато-серыми слабоизвестковистыми песчаниками. Эти коренные породы покрыты плащом четвертичных отложений, дневные горизонты которых являются почвообразующими породами. Соликамск расположен на древнеаллювиальных легких отложениях камских террас (Сафроничский, 1959; Коротаев, 1962; Борисевич, 1968; Оленев, Горчаковский, 1969; Еремченко и др., 2016).

Березники расположен в Кудымкарско-Чермозский районе дерново-сильно- и дерново-среднеподзолистых тяжелосуглинистых почв (Коротаев, 1962). Повышенную часть города занимали подзолистые, дерново-

сильнопodzолистые тяжелосуглинистые почвы и podзолы. Имели распространение низинные торфяно-глеевые почвы. В прибрежной части встречались дерново-элювоземы и псаммоземы, а в относительно пониженных участках, вдоль рек и ручьев – торфяно-глееземы и перегнойно-глеевые почвы (Еремченко и др., 2016).

Соликамск расположен в Чердынско-Соликамском почвенном подрайоне песчаных и супесчаных дерново-сильно- и среднеpodзолистых почв (Коротаев, 1962). В почвенном покрове наряду с podзолами были представлены дерново-podzолы песчано-супесчаного гранулометрического состава. В прибрежной части сформированы дерново-элювоземы на древнеаллювиальных песках, подстилаемых, по-видимому, делювием или элюво-делювием коренных пород. Для песчаных террас характерны псаммоземы с торфяно-глееземами и перегнойно-глеевыми почвами понижений (Еремченко и др., 2016).

Соликамск и Березники входят в район среднетаежных пихтово-еловых лесов. Среднетаежные леса характеризуются простым строением древостоя, кустарниковый ярус вообще отсутствует или развит очень слабо, травяно-кустарничковый и моховой ярусы развиты достаточно хорошо. В целом по району лесопокрываемые земли составляют более 85% (Овеснов, 2009).

При устройстве территории для солеотвалов растительность большей частью была уничтожена. В настоящее время в зоне воздействия солей сформировались сообщества синантропных видов растений. К условиям техногенного засоления приспособились преимущественно синантропные, адвентивные растения, в данном регионе они произрастают у дорог, жилья, в посевах сельскохозяйственных растений. Растительные сообщества в зонах устойчивого засоления характеризовались низким проективным покрытием (10-30 %) и видовым разнообразием. Доминировали молокан татарский, марь сизая, бескильница расставленная, вейник наземный, одуванчик, мать-и-мачеха обыкновенная. Кроме того, встречались злаки, другие маревые, представители разнотравья. Зоны неустойчивого засоления заняты

рудеральными сообществами с преобладанием многолетних злаков и элементами разнотравья (Еремченко и др., 2013).

Березники – крупный промышленный центр, второй по величине город Пермского края. Площадь города – 525 км², население – 198 тыс. чел. (Пермская область..., 1997; Состояние окружающей..., 2002). Был основан в 1932 г. в связи со строительством заводов: азотно-тукового, калийного, титано-магниевого, а также с разработкой Верхнекамского месторождения калийных солей. Непосредственно на территории города находятся Березниковский и Дурыманский участки месторождений. Современный центр города был застроен в 1930-х – 1940-х гг. Позднее (1960-е гг.) на месте пригородного лесопарка и на берегу созданного пруда появились новые жилые районы.

Соликамск – третий по величине город Пермского края, площадью 166 км², с населением 107 тыс. чел. (Состояние окружающей..., 2002). Образован благодаря богатым соляным промыслам на берегу р. Усолки; в 1573 г. поселение получило статус города, со временем границы города значительно расширились.

Хозяйственный профиль города определяют горнохимическая промышленность (добыча калийных солей и производство минеральных удобрений), предприятия лесопромышленного комплекса, а также металлургическая промышленность (производство магния) (Пермская область, 1997).

Верхнекамское месторождение солей приурочено к центральной части Соликамской впадины Предуральяского краевого прогиба. Соляная толща месторождения, имеющая форму линзы площадью 8,1 тыс. км², прослеживается в меридиональном направлении на 205 км, в широтном – до 55 км. Внутри контура соляной толщи расположена многопластовая залежь калийно-магниевых солей протяженностью. Соляные породы месторождения представлены калийной солью, сильвинитами и карналлитовыми породами.

Промышленное освоение запасов калийных солей Верхнекамского месторождения началось в 1927 г. В то время у г. Соликамска была заложена шахта №1 Первого калийного рудника (теперь СПКРУ-1 ОАО «Сильвинит»), которая была сдана в эксплуатацию в 1930 г. В 1931 г. близ дер. Чуртан (около Березников) была развернута проходка ствола № 1 Березниковского калийного рудника (теперь БПКРУ-1 ОАО «Уралкалий»). Наиболее интенсивно месторождение осваивалось после 50-х гг., было построено еще пять мощных калийных предприятий (Кудряшов, 2001).

Все Березниковские калийные предприятия (БПКРУ-1, БПКРУ-2, БПКРУ-3, БПКРУ-4), базирующиеся на рудах южной части Верхнекамского месторождения, входят в состав ОАО «Уралкалий» (г. Березники), а все Соликамские (СПКРУ-1, СПКРУ-2, СПКРУ-3), эксплуатирующие запасы центральной части месторождения, объединены в ОАО «Сильвинит» (г. Соликамск).

Объектами исследования являлись почвы и техногенные поверхностные образования территории Березниковского производственного калийного рудоуправления (БПКРУ-3, 4) и Соликамского калийного рудоуправления (СКРУ-1, 2).

Солеотвал и шламохранилище БПКРУ-3 расположены к югу от г. Березники и относятся к Балахонцевскому участку, который начал разрабатываться в 1973 г. Солеотвал БПКРУ-4 расположен северо-восточнее г. Березники на территории Быгельско-Троицкого участка, начало разработки которого – 1987 г. (Кудряшов, 2001).

Солеотвал и шламохранилище СКРУ-1 находятся на расстоянии 0,5 км от г. Соликамска, участок введен в эксплуатацию в 30-е гг. XX века. Солеотвал СКРУ-2 располагается на расстоянии 1,0 км от г. Соликамска; участок введен в эксплуатацию в 1974 г. (Кудряшов, 2001).

Влияние подотвальных соленых грунтовых вод на почвенный покров изучали в пойме р. Лёнва на расстоянии 1,1 км от шламохранилища БПКРУ-3, а также в долине р. Черная под дамбой солеотвала БПКРУ-3, где

подотвальными водами было образовано соленое болото. Воздействие соленых вод, изливающихся из древних рассолоподъемных скважин, на почвы исследовали в долине р. Усолка близ поселка Усть-Игум.

Почвенный покров зоны солеотвалов и шламохранилищ был трансформирован в связи с планировкой поверхности, устройством дамб и водоотводящих ложбин, разливом соленых вод, выходом подотвальных вод. В 2013 и 2016 гг. были изучены почвы и ТПО, отобрано 53 пробы, из них 30 проб из поверхностных слоев. Диагностику почв и ТПО провели в полуразрезах глубиной 0-100 см, пробы почв отобраны по горизонтам (слоям) с трех стенок разреза, для фитотестирования - с глубины 0-15 см.

В диагностике почв и ТПО использовали современные подходы (Классификация и диагностика..., 2004).

Расположение почвенных разрезов и прикопок указано на рисунках 5–9.

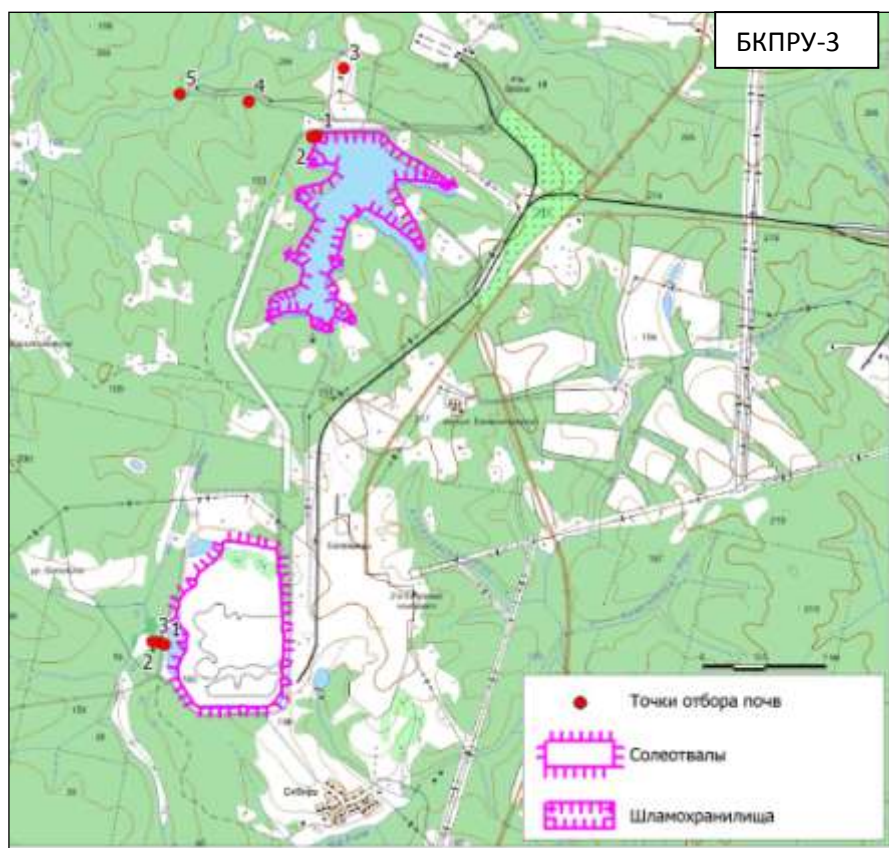


Рис. 5. Расположение разрезов и прикопок на территории БКПРУ-3;

у солеотвала: 1, 2 – серогумусовые остаточно карбонатные тяжелосуглинистые почвы; 3 – глеезем хлоридный натриевый солончаковый по аллювиальной почве;

у шламохранилища: 1 – литострат остаточно-карбонатный глинистый, 2 – серогумусовая суглинистая остаточно-карбонатная почва; 3 – солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый по аллювиальной перегнойно-глеевой суглинистой почве; 4 – дерново-глубокоподзолистая тяжелосуглинистая; 5 – аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная натриево-магниевый-кальциевая солончаковая почва.

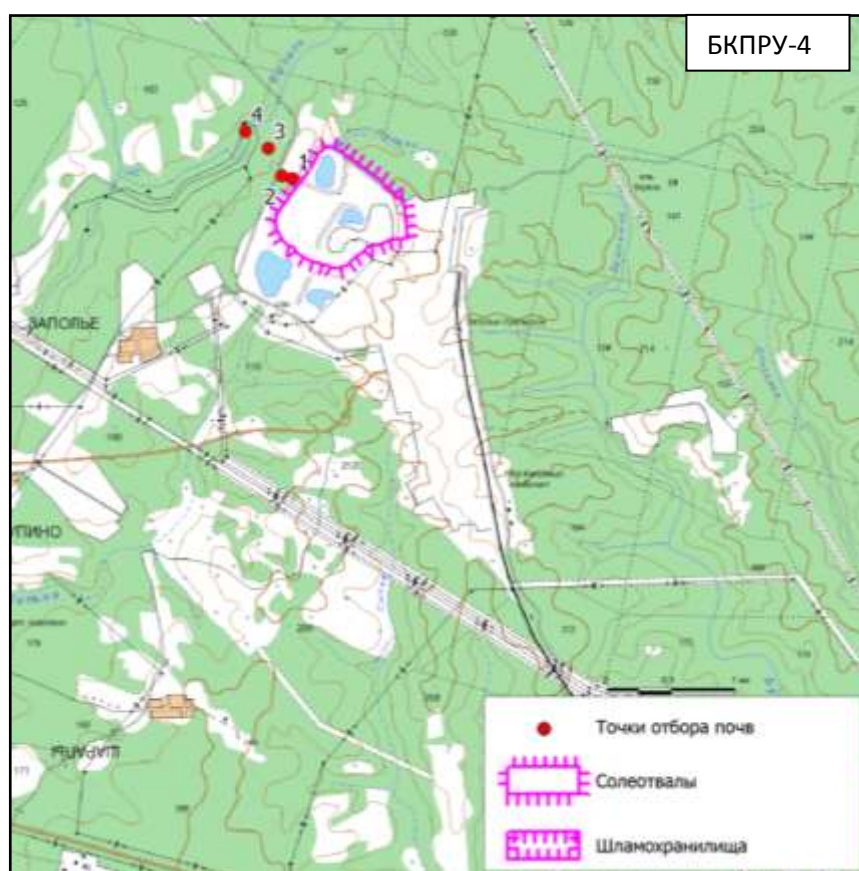


Рис. 6. Расположение разрезов и прикопок на территории БКПРУ-4:

1 – солончак вторичный хлоридный натриево-кальциевый тяжелосуглинистый; 2 – пелозем гумусовый тяжелосуглинистый; 3,4 – серогумусовые тяжелосуглинистые почвы

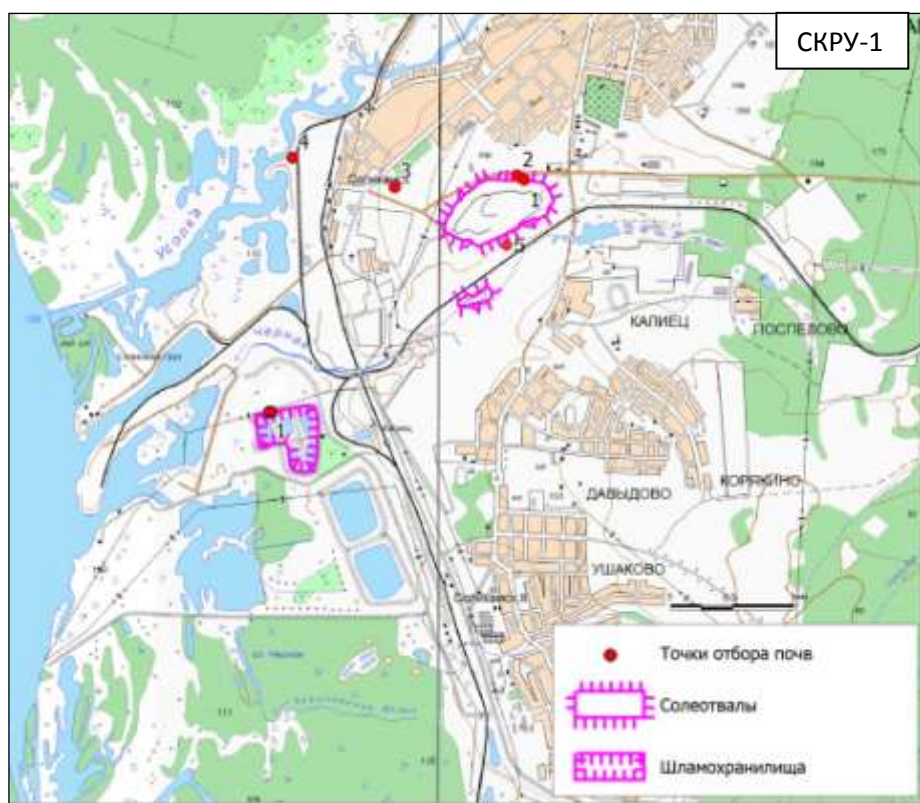


Рис. 7. Расположение разрезов и прикопок на территории СКРУ-1;

у солеотвала: 1 – солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый по литострату супесчаному; 2, 3 – серогумусовые остаточно-карбонатные супесчаные и суглинисто-глинистые почвы; 4 – аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная магниевое-кальциево-натриевая почва; 5 – солончак вторичный хлоридный натриевый карбонатсодержащий по серогумусовой глееватой суглинистой почве;

у шламохранилища: 1 – литострат глееватый песчаный остаточно-карбонатный.

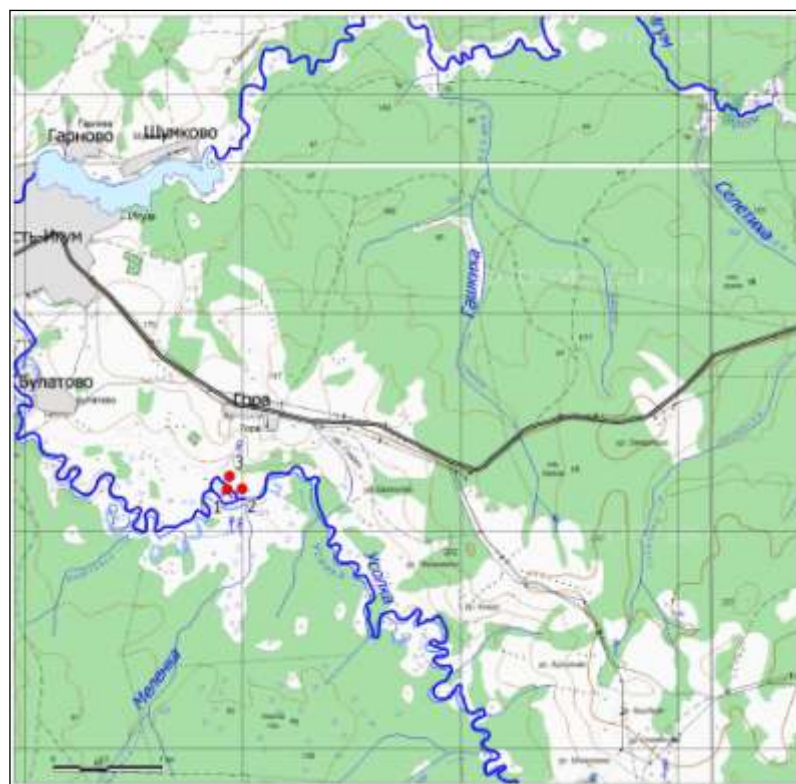


Рис. 8. Расположение разрезов и прикопок в районе излива древних
 рассолоподъемных скважин в долине Усолки:

1, 2, 3 – солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый по
 аллювиальной гумусовой глеевой почве

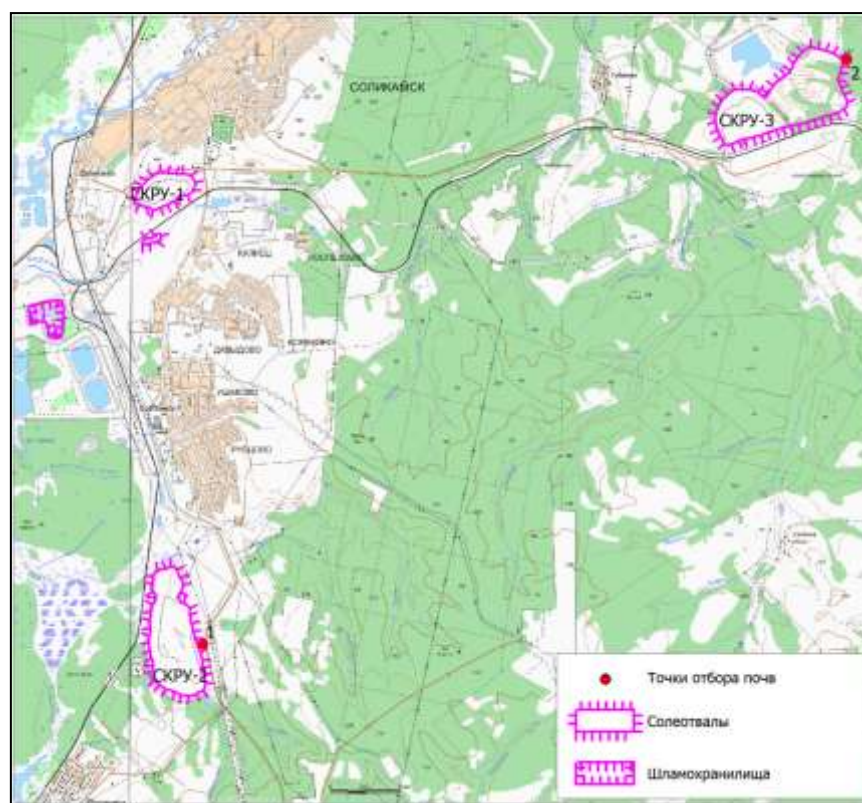


Рис. 9. Расположение прикопок на территории СКРУ-2 и СКРУ-3:

1, 2 – серогумусовая глееватая глинистая почва на карбонатном литострате

2.2. Методы лабораторных исследований

Полевые исследования проводились в период с 2013 г. по 2016 г. Лабораторные работы выполнены в 2012–2017 гг.; в 2012 г. для исследований использованы пробы природных почв, ранее отобранные научным руководителем.

Наш метод фитотестирования почв и ТПО урбанизированных и техногенных ландшафтов Пермского края основан на реакции кресс-салата *Lepidium sativum* L. Эксперименты по фитотестированию проводили в лабораторных условиях.

Кресс-салат выращивали на почвенных пробах в течение 10 дней, затем измеряли общую массу растений, высоту и массу одного растения в 30-кратной повторности, а также редокс-активность растительных экстрактов – в 3-кратной повторности по методу Петта в модификации Прокошева (Практикум по физиологии..., 1972). Общую редокс-активность растительных экстрактов рассматривали в качестве тест-реакции на токсичность корневой среды (Еремченко и др., 2014; Лузина, Демакина, 2014; Митракова, 2015).

В качестве загрязнителей были использованы нитрат свинца из расчета 1000 мг свинца на кг почвы, сульфат кадмия из расчета 500 мг кадмия на кг почвы. Свинец вносился в количестве, соответствующему высокому уровню загрязнения, отмеченному в почвах урболандшафтов (Еремченко, Москвина, 2005). Токсичность кадмия в 2-10 раз выше других тяжелых металлов (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989), поэтому его дозу сократили в два раза относительно свинца. ПДК указанных тяжелых металлов составляет для Pb – 100 мг/кг почвы, Cd – 3 мг/кг (Колесников и др., 2002), соответственно в опыте ПДК превышено по свинцу в 10 раз, по кадмию – 167 раз.

Тест-контролем были растения, выращенные на вермикулите с питательным раствором Кнопа. Вермикулит не образует нерастворимых

соединений со всеми компонентами питательных растворов, при правильном применении не пересыхает и не переувлажняется, что предотвращает загнивание и пересыхание корневых волосков растений (Иванова и др., 2006). Раствор Кнопа содержит необходимые элементы питания и широко используется при культивировании растений (Практикум по физиологии..., 2004). Питательный раствор внесен в вермикулит один раз перед посевом, затем растения поливали водой.

На вышеописанный способ оценки токсичности и биологической активности почв и техногенных почвогрунтов получен патент РФ (приложение 1) (Еремченко, Митракова, 2016).

В образцах почв и ТПО определяли:

- содержание органического углерода – по Тюрину (ГОСТ 26213-91);
- $pH_{\text{вод}}$, $pH_{\text{сол}}$ –потенциометрическим методом (ГОСТ 26423-85);
- гидролитическая кислотность – по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91);
- обменный кальций и обменный магний – методами ЦИНАО (ГОСТ 26487-85);
- емкость катионного обмена (ЕКО) рассчитали путем сложения суммы оснований и гидролитической кислотности;
- емкость поглощения в карбонатных пробах – методом Мелиха;
- содержание карбонатов и гипса – по В.А. Молодцову;
- ионно-солевой состав изучали в водной вытяжке (Аринушкина, 1970): Na^+ и K^+ – на пламенном фотометре, Cl^- – путем титрования азотнокислым серебром, Ca^{2+} , Mg^{2+} – трилонометрическим методом, сульфат-ионы рассчитали по разности сумм катионов и анионов, общее количество солей (%) - расчетным методом;
- подвижные соединения фосфора и калия – по Кирсанову в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 54650-2011) ;

- подвижность тяжелых металлов, выраженную через их активность ($-\lg[\text{Cd}]$ и $-\lg[\text{Pb}]$) – ионо-селективным методом с применением рН-метра-иономера.
- активность дыхания – адсорбционным методом в модификации И.Н. Шаркова (1984).
- активность каталазы – газометрическим методом (Минеев, 2001).

В исследованиях использовали метод математической статистики, дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализы с применением критериев Стьюдента и Фишера.

ГЛАВА 3. ИЗУЧЕНИЕ ОТВЕТНОЙ РЕАКЦИИ ТЕСТ-КУЛЬТУРЫ НА СВОЙСТВА ПОЧВ И ПОДВИЖНОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

3.1. Ответная реакция тест-культуры на свойства природных почв

Известны основные свойства плодородных почв, обеспечивающие максимальную продуктивность природных фитоценозов и культурных растений: реакция среды близкая к нейтральной, высокое содержание и благоприятный состав гумуса, доступность питательных элементов, водопрочная зернистая или комковатая структура, высокая микробиологическая и биохимическая активность и т.д. (Добровольский, Никитин, 2000). Свойства преобладающих почв Пермского края (дерново-подзолистые, подзолистые, подзолы) не способны обеспечить высокую фитопродуктивность, относительно плодородными являются черноземы и серые почвы лесостепи, но доля их в структуре почвенного покрова малозначительна. Исследованиями пермских почвоведов (Еремченко и др., 2013; Еремченко и др., 2016) показано значительное разнообразие природных и антропогенных почв, техногенных поверхностных образований и крайне высокая вариабельность их свойств на урбанизированных и техногенных территориях Пермского края.

На первом этапе наших исследований решалась задача изучения ответной реакции кресс-салата на основные генетические свойства природных почв. Высота и масса растений изменялись в зависимости от свойств почв (приложение 3). Эксперимент по фитотестированию продемонстрировал ответную реакцию растений на содержание гумуса. Так, согласно уравнению регрессии, высота растения и общая масса растений при количестве гумуса около 14 % (чернозем) была в 2 раза выше по сравнению с кресс-салатом, выращенным на пробах с содержанием гумуса 1,4-2,1 % (псаммозем и элювиальный горизонт дерново-подзолистой почвы) (рис. 10, 11).

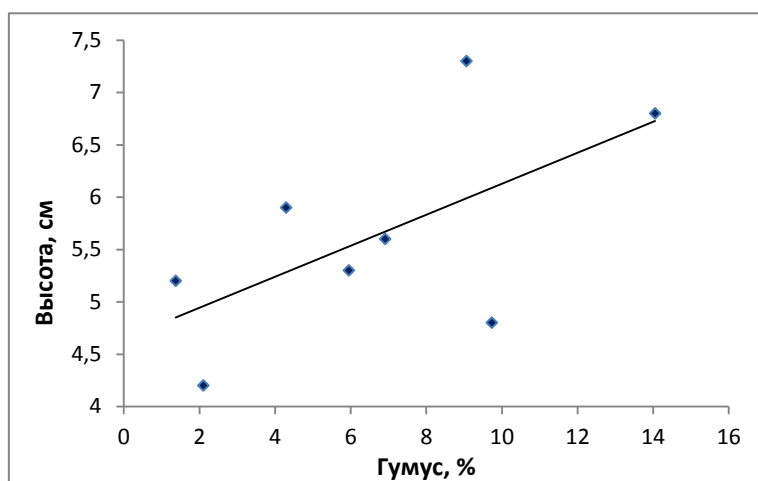


Рис. 10. Зависимость высоты кресс-салата (см) от содержания гумуса в почвах (%): $y = 4,792 + 0,142 x$; $R = 0,57$; $F = 3,36$; $p = 0,012$

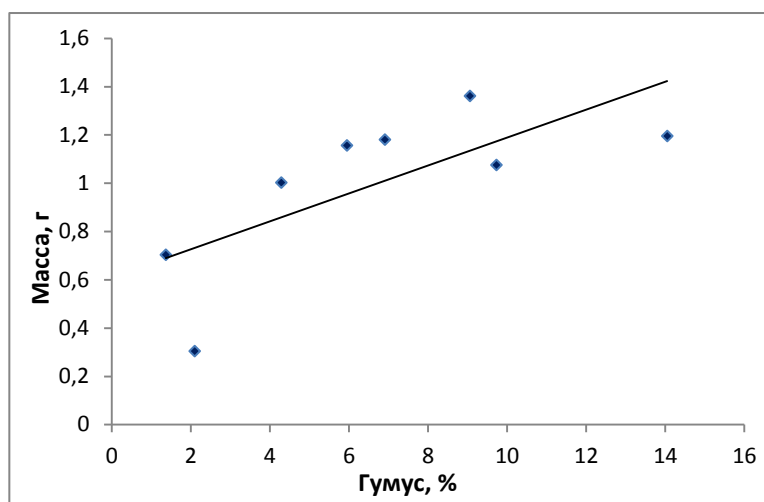


Рис. 11. Зависимость общей массы кресс-салата (г) от содержания гумуса (%) в почвах: $y = 0,676 + 0,055 x$; $R = 0,64$; $F = 4,92$; $p = 0,021$

В большей степени на состояние тест-культуры оказала влияние актуальная и обменная кислотность почв. Связь высоты и общей массы растений с $pH_{\text{сол}}$ была прямой и сильной. Согласно регрессионной связи, повышение $pH_{\text{сол}}$ от 3,3 (псаммозем) до 5,05 (чернозем) сопровождалось увеличением высоты от 4,5 до 6,5 см, а массы в 2,5 раза (рис. 12, 13), а увеличение $pH_{\text{вод}}$ с 3,8 до 6 привело к росту массы растений более, чем в 2 раза (рис. 14).

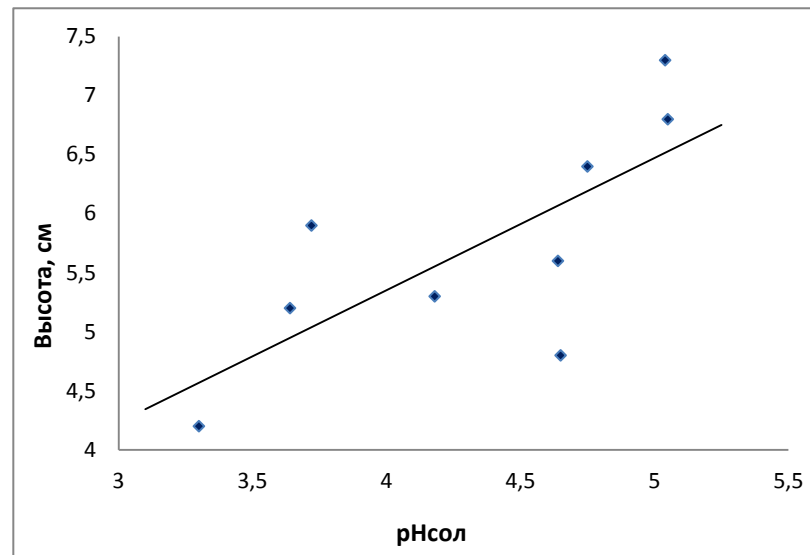


Рис. 12. Зависимость высоты кресс-салата (см) от pH_{сол} почв:

$$y = 0,70 + 1,15 x; R = 0,72; F = 7,58; p = 0,0003$$

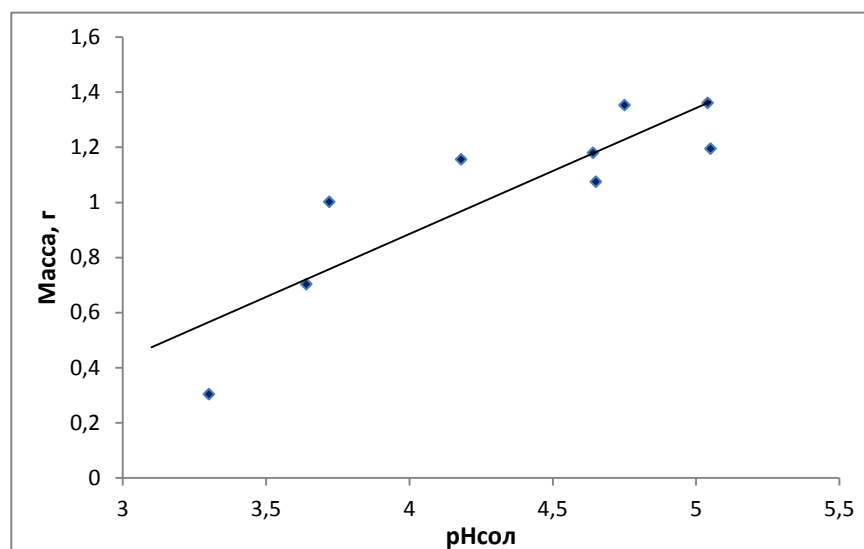


Рис. 13. Зависимость общей массы кресс-салата (г) от pH_{сол} почв: $y = -0,98 + 0,46 x; R = 0,84; F = 17,4; p = 0$

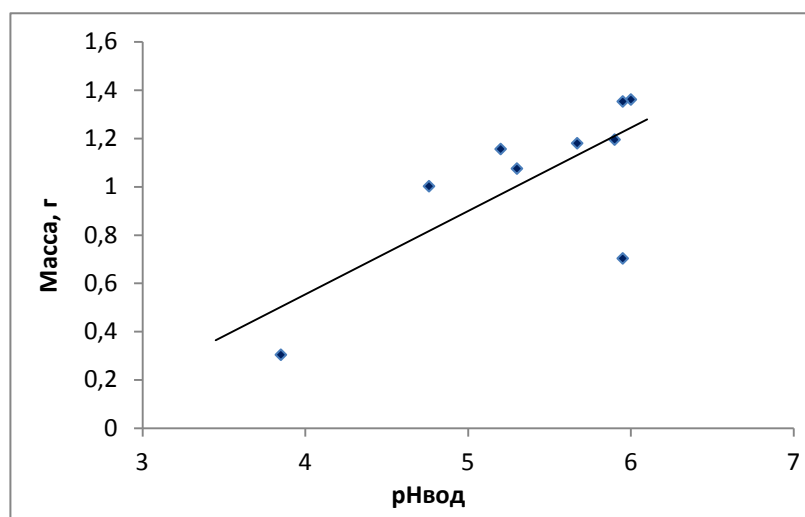


Рис. 14. Зависимость общей массы кресс-салата (г) от $\text{pH}_{\text{вод}}$ почв:

$$y = -0,827 + 0,345 x; R = 0,74; F = 8,22; p = 0,0002$$

Множественная регрессия подтвердила основной вклад в состояние тест-культуры кислотно-основных свойств почв и содержания гумуса. Получена зависимость общей массы кресс-салата (г) от $\text{pH}_{\text{сол}}$ (x_1), и гумуса (x_2 , %): $y = -1,722 + 0,689x_1 - 0,037 x_2$; $R = 0,91$; $F = 16,76$; $p = 0,0026$. Связь высоты кресс-салата (см) от $\text{pH}_{\text{сол}}$ (x_1) и гумуса (x_2 , %) имела следующий вид: $y = -0,374 + 1,488 x_1 - 0,058 x_2$; $R = 0,79$; $F = 5,96$; $p = 0,0307$.

Сумма оснований в почве зависит от содержания гумуса и кислотно-основных свойств почвенного раствора, поэтому выявлено ее воздействие на высоту и массу растений. Зависимость высоты кресс-салата от суммы оснований описывает уравнение: $y = 4,86 + 0,028 x$; $R = 0,52$; $F = 2,57$; $p = 0,036$; а зависимость общей массы кресс-салата от суммы оснований – $y = 0,57 + 0,015 x$; $R = 0,81$; $F = 13,4$; $p = 0$.

Некоторую связь с ведущими элементами почвенного плодородия показали биохимические свойства – функционирование микробиоты, отраженное в интенсивности «дыхания», и активность каталазы. Между выделением углекислого газа и pH почв не обнаружено существенных зависимостей. Известно, что с гумусом почв связана активность микроорганизмов-деструкторов; поэтому установлена тесная прямая связь

«дыхания» почв с этим показателем почв (рис. 15). Согласно уравнению, при количестве гумуса 1,37 % выделялась CO_2 10,8 мг/100 г почвы за 24 ч, а при 14 % - почти в 3 раза больше.

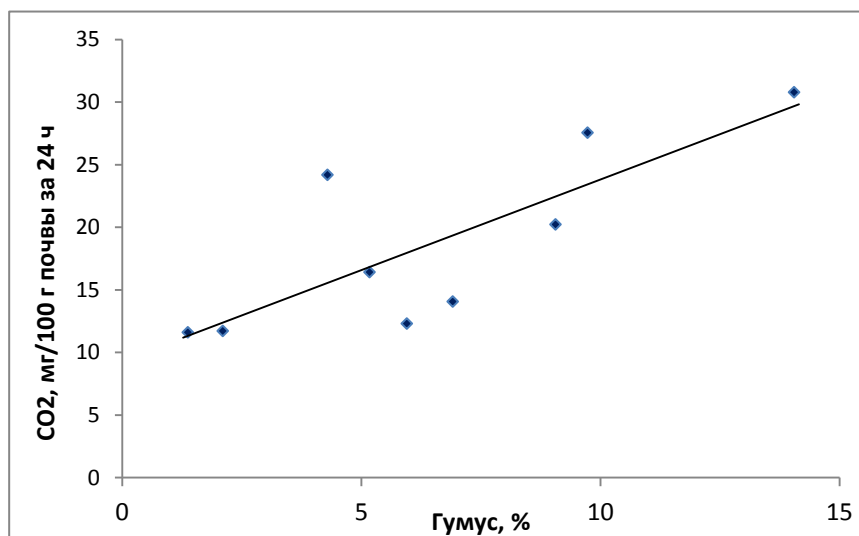


Рис. 15. Зависимость дыхания (CO_2 мг/100 г почвы за 24 ч) от гумуса (%):

$$y = 8,766 + 1,472 x; R = 0,78; F = 12,7; p = 0$$

Активность каталазы оказалась зависимой от кислотно-основных свойств (рис. 16, 17).

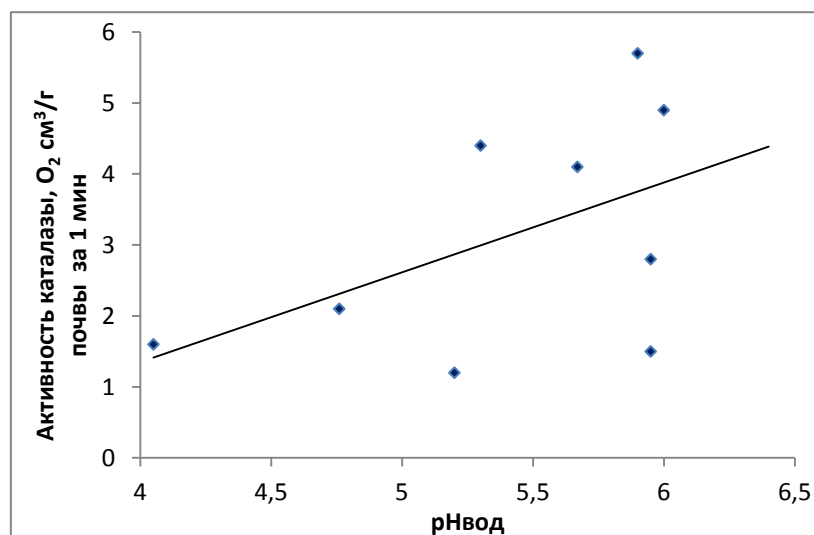


Рис. 16. Зависимость активности каталазы (O_2 см³/г за 1 мин) от $\text{pH}_{\text{вод}}$ почв:

$$y = - 5,21 + 1,56 x; R = 0,66; F = 6,1; p = 0,0005$$

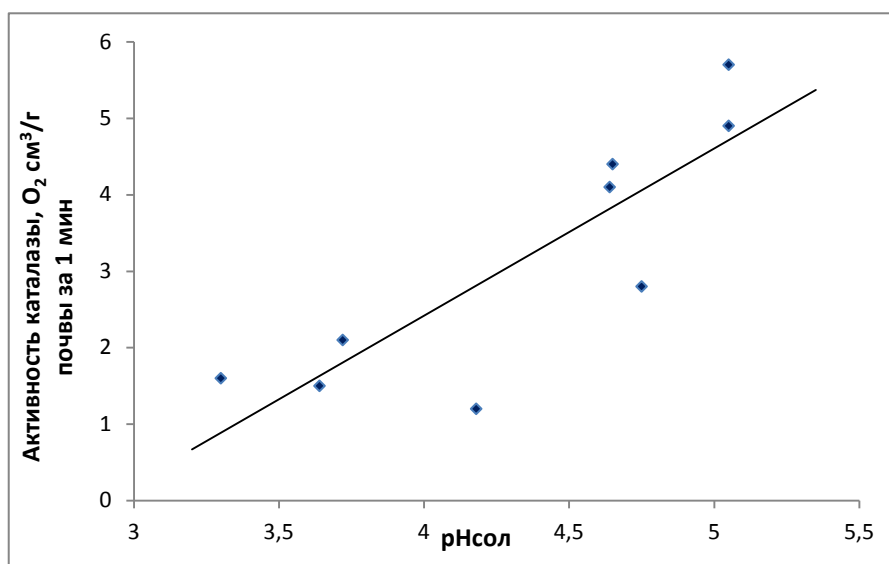


Рис. 17. Зависимость активности каталазы (O₂ см³/г за 1 мин) от pH_{сол} почв:

$$y = - 7,89 + 2,563 x; R = 0,90; F = 35,3; p = 0$$

Между активностью каталазы и содержанием гумуса в почвах проявилась сильная связь (рис. 18). Согласно уравнению при количестве гумуса 1,37 % (элювиальный горизонт дерново-подзолистой почвы) выделялась за 1 минуту O₂ 0,68 см³/г почвы, а при 14 % - 6,46 см³/г почвы.

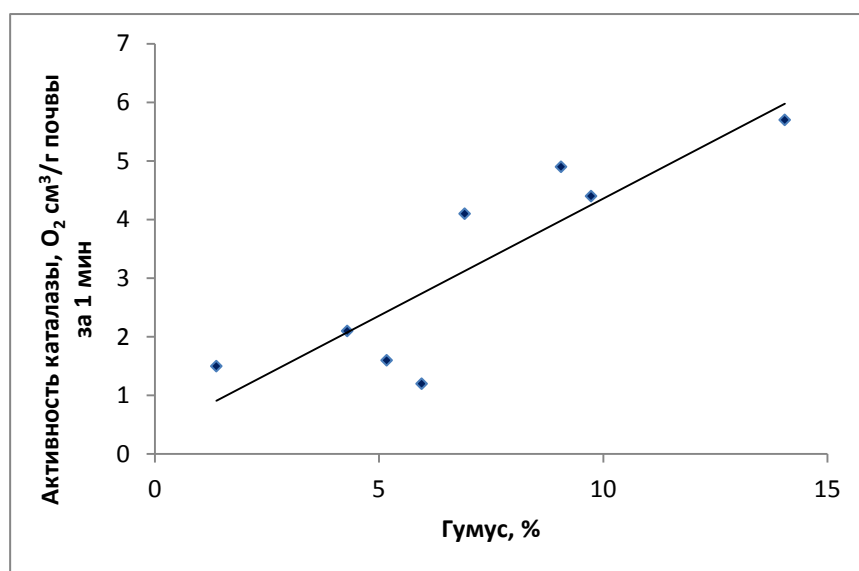


Рис. 18. Зависимость активности каталазы (O₂ см³/г за 1 мин) от количества

гумуса в почвах (%): $y = 0,061 + 0,456 x; R = 0,90; F = 35,28; p = 0$

Ферментативная активность на 90 % определялась совместным действием $\text{pH}_{\text{сол}}$ (x_1) и содержанием гумуса (x_2 , %): $y = -4,67 + 1,42x_1 + 0,25x_2$; $R = 0,95$; $F = 33,03$; $p = 0,0005$.

Поиски связей между показателями состояния растений и биохимическими свойствами показали отсутствие зависимости высоты и массы растений с интенсивностью «дыхания». Связь между растениями и активностью каталазы имела среднюю силу. Зависимость между высотой растений и каталазной активностью почв выражено уравнением: $y = 4,641 + 0,337x$; $R = 0,64$; $F = 4,8$; $p = 0,002$; связь между общей массой растений и каталазной активностью уравнением: $y = 0,674 + 0,113x$; $R = 0,62$; $F = 4,5$; $p = 0,003$.

3.2. Ответная реакция тест-культуры на свойства темно-серых почв

Агрохимические свойства почв. В структуру почвенного покрова урбанизированных и техногенных ландшафтов входят агропочвы, поэтому на следующем этапе исследований мы изучали ответную реакцию тест-культуры на свойства темно-серой и агротемно-серой почв, в том числе, при загрязнении тяжелыми металлами. Приводим сравнительную характеристику основных показателей плодородия этих почв.

Т.В. Вологжанина (2005) при изучении темно-серых почв Предуральской лесостепной провинции указывает на лесной тип накопления органического вещества; основная часть гумуса сосредоточена в слое 0-20 см. Результаты наших исследований показали, что внутри одного ареала природной темно-серой почвы содержание гумуса существенно варьировало (приложение 7, табл. 1). Коэффициент вариации этого показателя по слоям 2-12 и 12-22 см достигал 21 и 26% соответственно, а в слое 22-32 см был значительно больше – 40%.

В верхних слоях агротемно-гумусового горизонта содержание гумуса (приложение 7, табл. 1) изменялось в средней степени (коэффициент

вариации до 18%), но в нижней части гумусированность резко упала, а ее вариабельность достигла 36%. Повышенная однородность агрогоризонта по содержанию гумуса, по-видимому, связана с перемешиванием при обработках; а ее снижение в нижней части – с вовлечением при вспашке подгумусового слоя.

Среднее содержание гумуса в агропочве по слоям ниже на 54-68 %, чем в природной почве (рис. 19). По предложенным критериям (Вальков и др., 2004) обеспеченность гумусом природной темно-серой почвы колебалась от высокой до средней, в агротемно-серой – от средней до низкой. Снижение содержания гумуса в агропочве по сравнению с целинной почвой вполне соответствует научным данным. В современном земледелии устойчивые и часто необратимые изменения претерпевают гумусовый профиль почв, при распашке активизируются процессы деструкции гумуса (Гришина, 1986; Волокиткин, 2013). Максимальная дегумификация отмечена в высокогумусированных почвах (Гришина, 1986; Когут, 1987; Дьяконова, 1988).

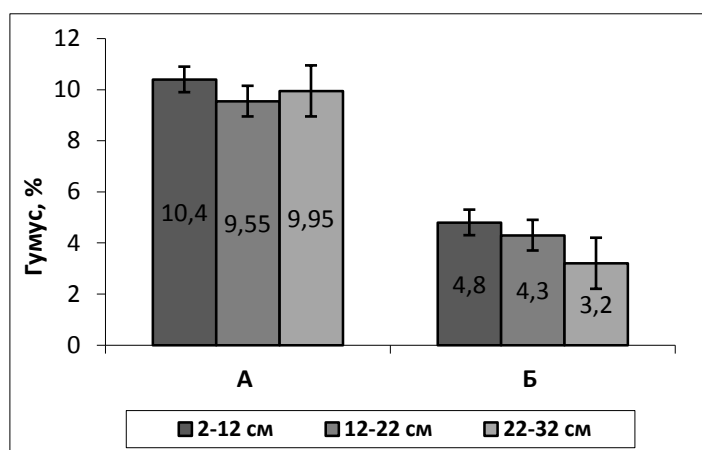


Рис.19. Содержание гумуса (%):

А – темно-серая почва, Б – агротемно-серая почва

Жизнь животных и растений может протекать при рН от 2,5-3 до 10-10,5. За пределами этих концентраций ионов водорода проявление жизни крайне ограничено. Этот же, даже больший, размах рН встречается и в почвах. Величина рН является наиболее устойчивым генетическим

показателем почвы, всякое изменение реакции среды приводит к смене характера почвообразования и экологических условий обитания организмов. С реакцией почвенного раствора связаны изменения органической и минеральной части почв, процессы растворения, миграции и аккумуляции в почвенном профиле, т. е. скорость и направленность протекающих в почве химических и биологических процессов (Ковда и др., 1988; Вальков и др., 2004а; Вальков и др., 2004b).

Величина актуальной кислотности природной темно-серой почвы составляла 5,7-5,8 (рис. 20; приложение 7, табл. 2), что характеризует ее как слабокислую. Для почв одного ареала характерно низкое варьирование pH – в границах 1-2 %.

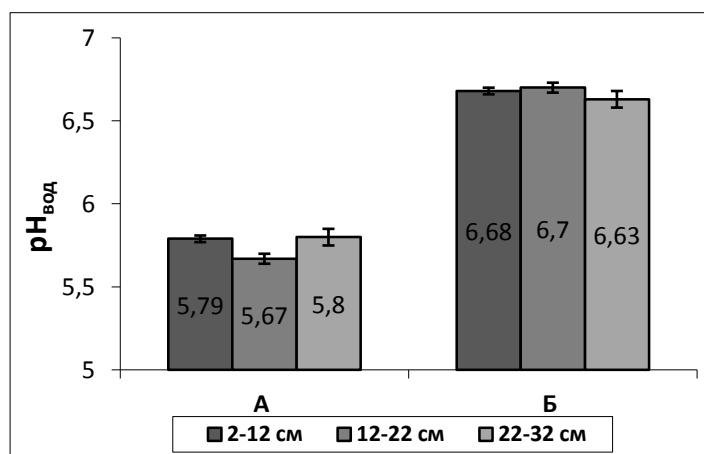
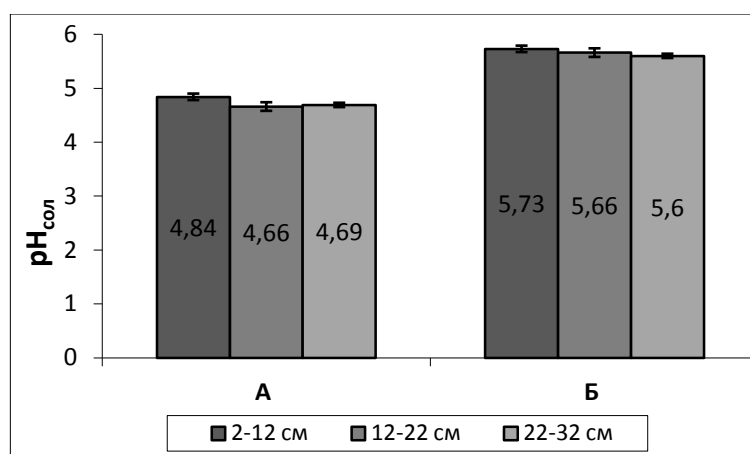


Рис. 20. Величина $pH_{\text{вод}}$:

А – темно-серая почва, Б – агротемно-серая почва

В агротемно-серой почве средняя величина $pH_{\text{вод}}$ около 6,7, что указывает на нейтральную реакцию почвенного раствора, по-видимому, сельскохозяйственное использование почвы происходило на фоне известкования (рис. 20; приложение 7, табл. 2). Потенциальная (обменная) кислотность ($pH_{\text{сол}}$) в агротемно-серой почве также снизилась по сравнению с темно-серой почвой (рис. 21; приложение 7, табл. 3). Вариабельность показателей кислотности несколько выше по сравнению с природной почвой, вероятно, это обусловлено неравномерным внесением извести.

Рис. 21. Величина $pH_{\text{сол}}$:

А – темно-серая почва, Б – агротемно-серая почва

В темно-серой почве заметно выражена гидролитическая кислотность, что обусловлено её высокой гумусированностью и поглотительной способностью. Агротемно-серая почва характеризовалась значительно более низкой гидролитической кислотностью (1-7 мг-экв/100 г почвы), но при высокой ее вариации – 35-38% (рис. 22; приложение 7, табл. 4). В целом отмечаем, что в ходе земледельческой деятельности были улучшены кислотно-основные условия агротемно-серой почвы.

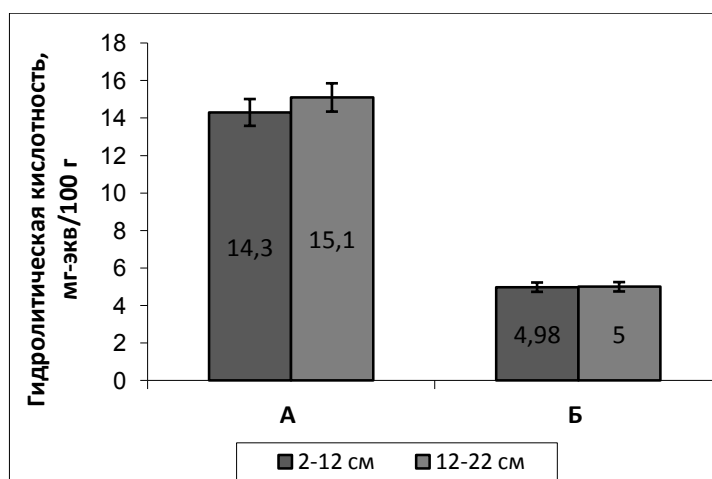


Рис. 22. Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы:

А – темно-серая почва, Б – агротемно-серая почва

Поглотительная способность почвы – это свойство ее твердой фазы обменно или не обменно поглощать или концентрировать газообразные и

жидкие компоненты – молекулы, ионы, частицы суспензии, в том числе, техногенного происхождения. Чем выше емкость поглощения, тем больше вероятность накопления загрязняющих веществ почвой (Горбовская, 2006). Т.В. Вологжанина (2005) отмечает, что темно-серые почвы Предуралья характеризуются высокой ЕКО, по этому показателю они близки к черноземным почвам.

В исследуемой темно-серой почве поглотительная способность высокая; в агрогоризонте она заметно ниже (рис. 23; приложение 7, табл. 5) и по В.Ф. Валькову и др. (2004) соответствует градации «выше средней». Понижение поглотительной способности почвы связано, вероятно, с потерей органического вещества в пахотном горизонте.

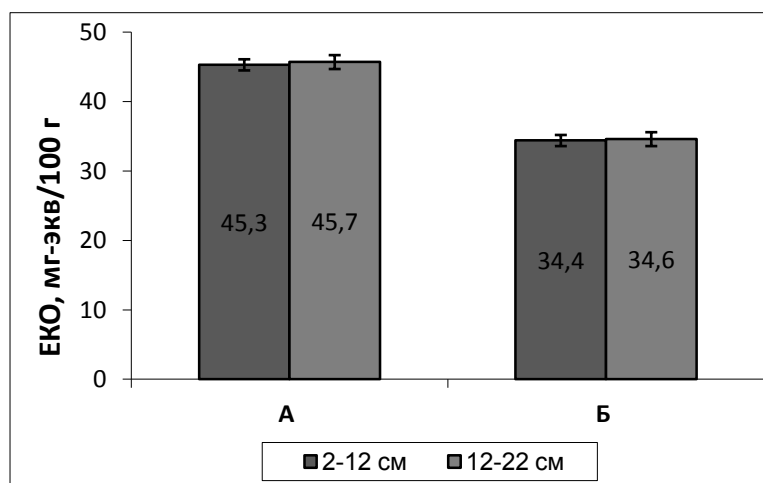


Рис. 23. Ёмкость катионного обмена, мг-экв/100 г почвы:

А – темно-серая почва, Б – агротемно-серая почва

Снижение ЕКО не сопровождалось снижением суммы обменных оснований (приложение 7, табл. 6). В агротемно-серой почве степень насыщенности основаниями оказалась несколько выше, и она в известковании не нуждается (рис.24).

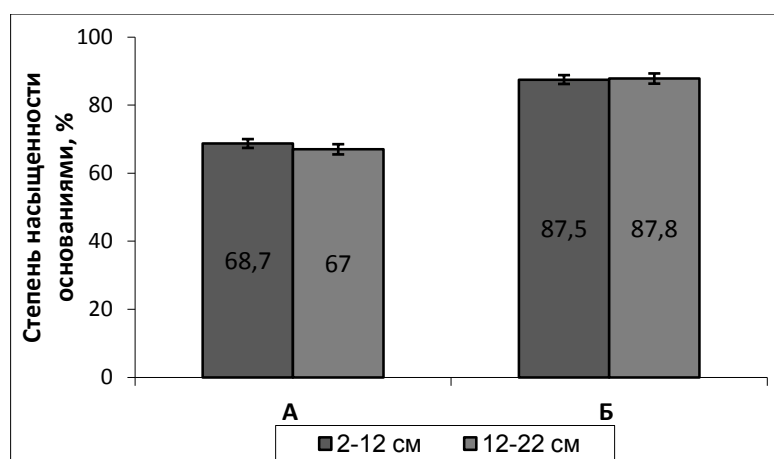


Рис. 24. Степень насыщенности основаниями, %:

А – темно-серая почва, Б – агротемно-серая почва

В почвах были определены питательные элементы – подвижные формы фосфора и калия. Содержание фосфатов в природной почве сильно варьировало, коэффициент вариации 58-72%. По градации В.Ф. Валькова и др. (2004) количество подвижных фосфатов в природной почве «низкое и очень низкое». В агропочве их количество повышено на порядок – «высокий и очень высокий уровень», пространственная вариация остается высокой (рис. 25; приложение 7, табл. 8).

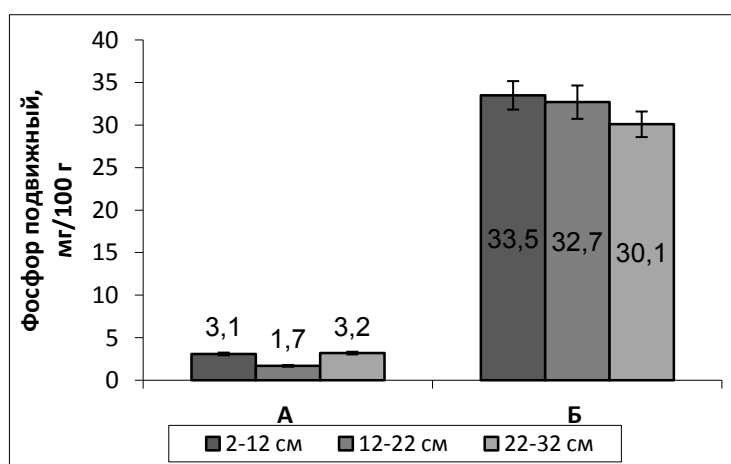


Рис. 25. Содержание подвижного фосфора, мг/100 г почвы:

А – темно-серая почва, Б – агротемно-серая почва

Среднее содержание подвижного калия в темно-серой почве соответствует градации «повышенное» в верхнем слое и «низкое» - в нижних

слоях. В агротемно-серой почве в слое 2-12 см обеспеченность калием средняя, в нижних слоях низкий уровень содержания элемента; различия с природной почвой оказались не существенны (рис. 26; приложение 7, табл. 9).

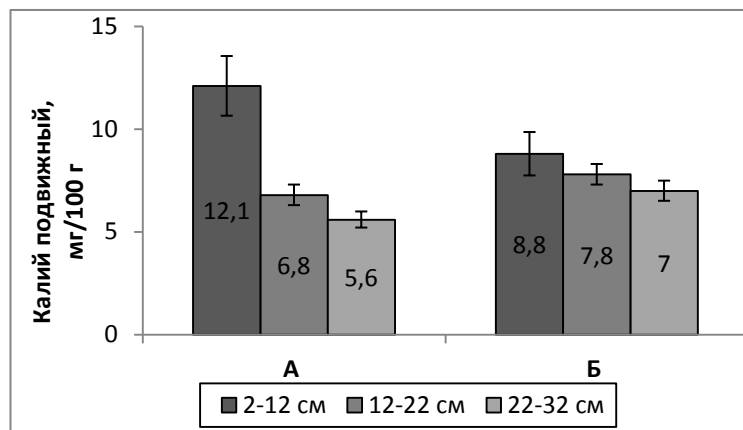


Рис. 26. Содержание подвижного калия, мг/100 г почвы:

А – темно-серая почва, Б – агротемно-серая почва

Изменения почвы в земледелии, по-видимому, малозначительно повлияли на ее эффективное плодородие. При выращивании тест-культуры на пробах из верхних горизонтов почв между показателями состояния кресс-салата не выявлено существенных различий, хотя средние показатели растений на агропочве несколько выше (табл. 1; приложение 7, табл. 10).

Таблица 1

Высота и масса кресс-салата, выращенного на незагрязненных почвах

Показатель		Почва	М	m	Lim	Стандартное отклонение
2-12 см	Высота, мм	Темно-серая	25	2,1	22-33	4,6
		Агротемно-серая	27	4,0	20-42	9,0
	Масса, мг	Темно-серая	12	0,9	10-15	1,9
		Агротемно-серая	14	2,0	10-21	4,5
12-22 см	Высота, мм	Темно-серая	25	3,6	17-37	8,0
		Агротемно-серая	30	4,7	18-39	10,4
	Масса, мг	Темно-серая	11	1,9	7-18	4,2
		Агротемно-серая	16	2,9	8-22	6,5

В темно-серой почве не установлено значимой связи высоты и массы кресс-салата с содержанием гумуса, показателями актуальной и обменной кислотности, поскольку в пределах одного ареала колебания этих свойств почв относительно низкие. На состояние кресс-салата прямо пропорционально повлияли подвижные фосфаты и калий. Так, согласно уравнению регрессии, в слое 2-12 см при содержании подвижного фосфора 1,3 мг/100 г почвы масса одного растения составляла около 10 мг, а при 5,6 мг/100 г возросла почти до 14 мг (рис. 27).

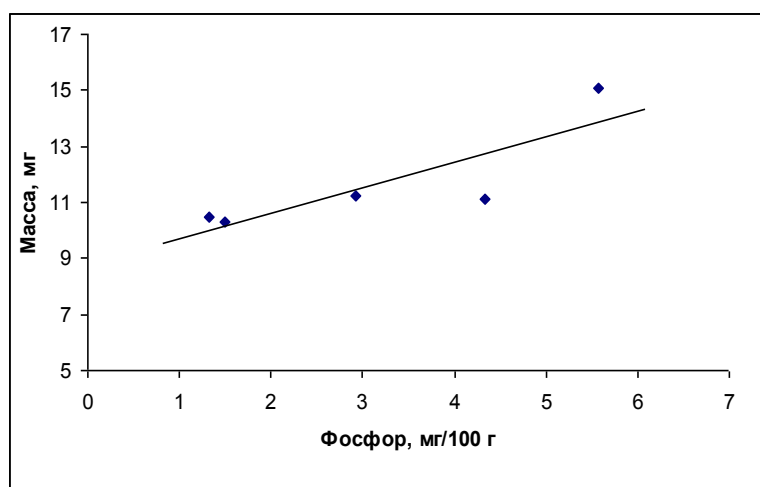


Рис. 27. Зависимость массы одного растения (мг) от содержания подвижного фосфора (мг/100 г почвы) в слое 2-12 см темно-серой почвы:

$$y = 8,8 + 0,9 \cdot x; R = 0,84; F = 7,3; p = 0,004$$

Согласно уравнению регрессии, при количестве подвижного калия около 8 мг/100 г почвы масса растения была равна 9,9 мг, а высота – около 22 мм; повышение его содержания до 23 мг/100 г сопровождалось увеличением массы до 14 мг, а высоты – до 30 мм (рис. 28). Зависимость высоты растения от содержания подвижного калия в слое 2-12 см темно-серой почвы описывает уравнение: $y = 17,18 + 0,55 \cdot x; R = 0,74; F = 3,5; p = 0,036$.

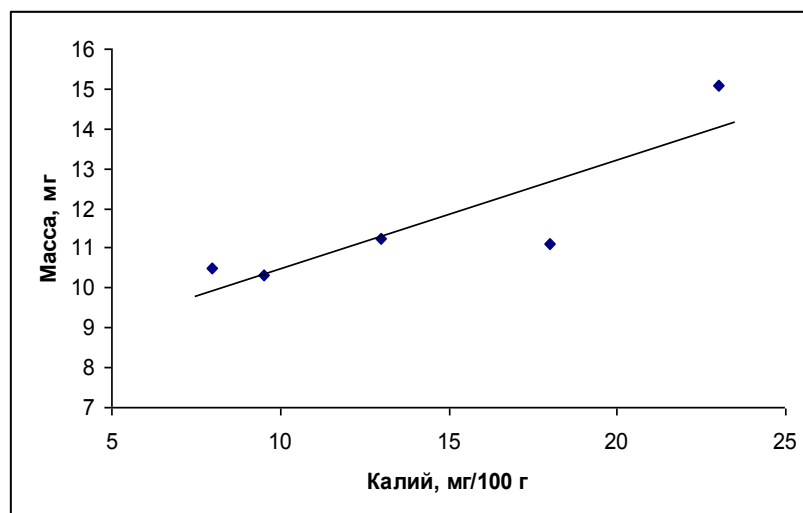


Рис. 28. Зависимость массы растения (мг) от содержания подвижного калия (мг/100 г почвы) в слое 2-12 см темно-серой почвы:

$$y = 7,71 + 0,27 \cdot x; R = 0,86; F = 8,9; p = 0,0024$$

В слое 12-22 см темно-серой почвы ведущим свойством остается обеспеченность подвижным калием, которую подтвердила регрессионная зависимость (рис. 29). Уравнение, описывающее зависимость высоты кресс-салата от содержания подвижного калия в слое 12-22 см темно-серой почвы выглядит следующим образом: $y = -6,5 + 4,6 \cdot x; R = 0,96; F = 32,9; p = 0,0001$. Влияние фосфатов в этом слое почвы на высоту и массу тест-культуры оказалось не достоверным.

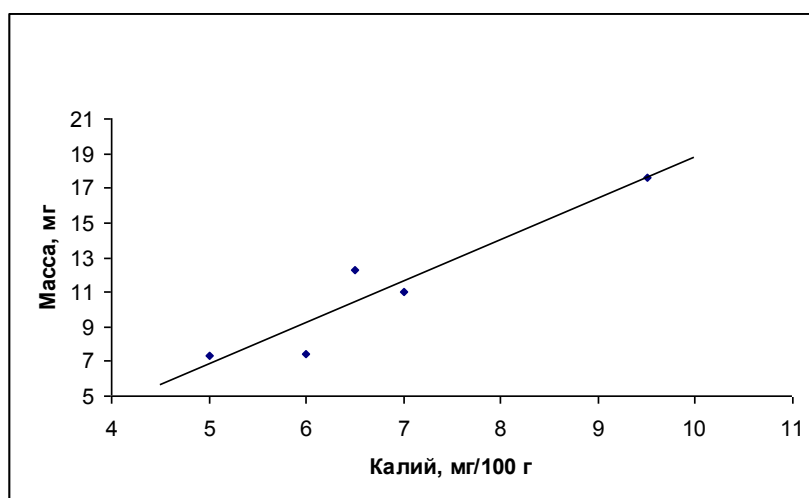


Рис. 29. Зависимость средней массы растений (мг) от содержания подвижного калия (мг/100 г почвы) в слое 12-22 см темно-серой почвы:

$$y = -5,1 + 2,4 \cdot x; R = 0,95; F = 25,9; p = 0,0001$$

По-другому проявились связи между состоянием тест-культуры и свойствами агропочвы. В слое 2-12 см агротемно-серой почвы высота и масса растений зависела от показателей кислотности (рис. 30, 31). Зависимость массы растений от $pH_{\text{вод}}$ агротемно-серой почвы описывает уравнение: $y = -34,7 + 7,27 \cdot x$; $R = 0,91$; $F = 13,5$; $p = 0,0007$. Несмотря на известкование, в отдельных пробах прослежено сохранение потенциальной кислотности, что повлияло на состояние растений. Например, согласно полученному уравнению регрессии, увеличение $pH_{\text{сол}}$ от 5,1 до 6,7 привело к увеличению высоты растений от 19 мм до 40 мм, а средняя масса растений с 10 мг возросла вдвое (рис. 32). Получена зависимость высоты растений от $pH_{\text{сол}}$ в слое 2-12 см агротемно-серой почвы: $y = -43,96 + 12,46 \cdot x$; $R = 0,93$; $F = 20,3$; $p = 0,0002$.

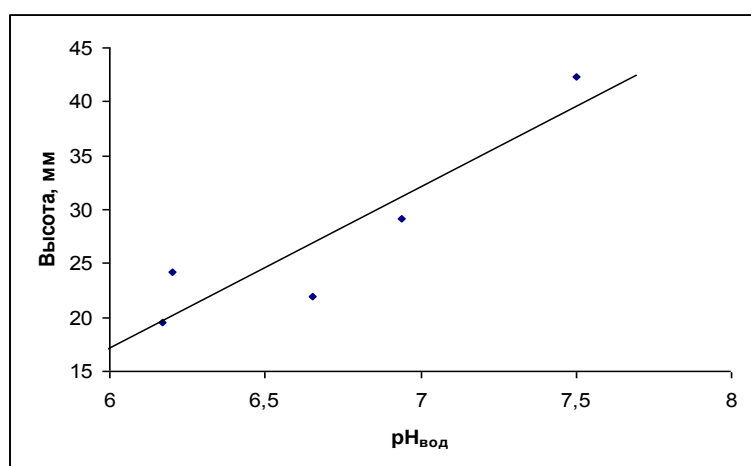


Рис. 30. Зависимость высоты (мм) растений от $pH_{\text{вод}}$ в слое 2-12 см агротемно-серой почвы: $y = 5,1 + 0,06 \cdot x$; $R = 0,92$; $F = 16,0$; $p = 0,0004$

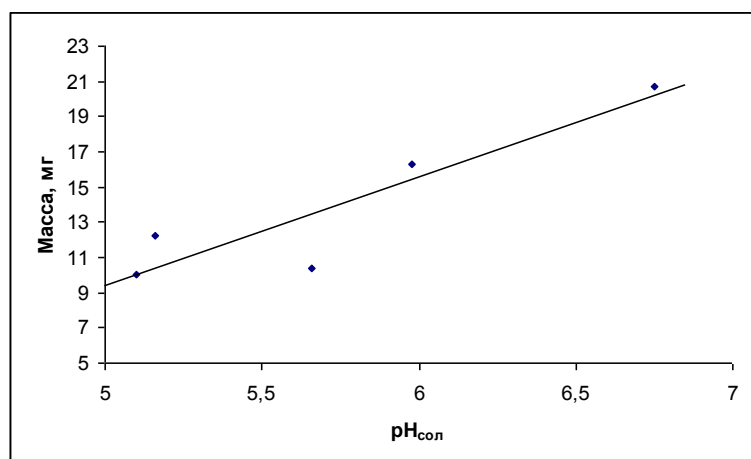


Рис. 31. Зависимость массы растений (мг) от $pH_{\text{сол}}$ в слое 2-12 см агроотемно-серой почвы: $y = -21,2 + 6,1 \cdot x$; $R = 0,91$; $F = 15,0$; $p = 0,0005$

Связь показателей состояния кресс-салата с гидролитической кислотностью была обратно пропорциональной, ее увеличение с 1,3 до 7,5 мг-экв/100 г почвы сопровождалось снижением высоты растений от 39 мм до 16 мм (рис. 32), а массы с 19 до 9 мг. Зависимость массы кресс-салата от гидролитической кислотности в слое 2-12 см агроотемно-серой почвы демонстрирует уравнение: $y = 20,8 - 1,6 \cdot x$; $R = -0,91$; $F = 15,0$; $p = 0,0005$.

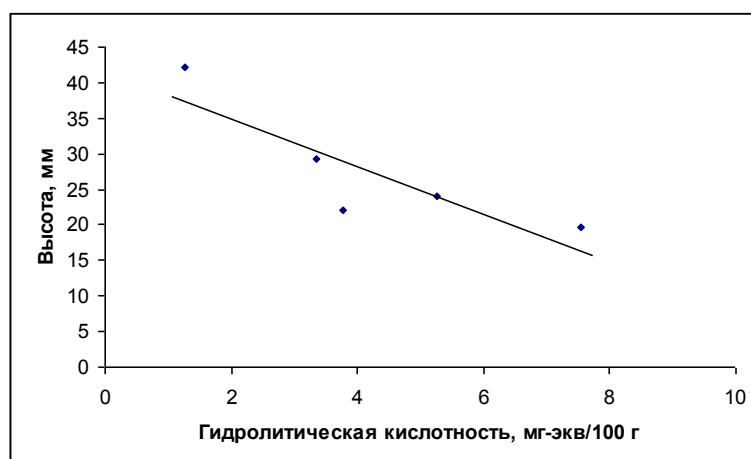


Рис. 32. Зависимость средней высоты растений (мм) от гидролитической кислотности (мг-экв/100 г почвы) в слое 2-12 см агроотемно-серой почвы:
 $y = 41,5 - 3,3 \cdot x$; $R = -0,86$; $F = 8,5$; $p = 0,0027$

Сумма оснований положительно повлияла на высоту и массу кресс-салата, что подтвердили прямые и сильные регрессионные зависимости (рис.

33). Уравнение, описывающее зависимость массы растений от суммы оснований в слое 2-12 см агротемно-серой почвы выглядит следующим образом – $y = -26,8 + 1,4 \cdot x$; $R = 0,95$; $F = 25,9$; $p = 0,0001$.

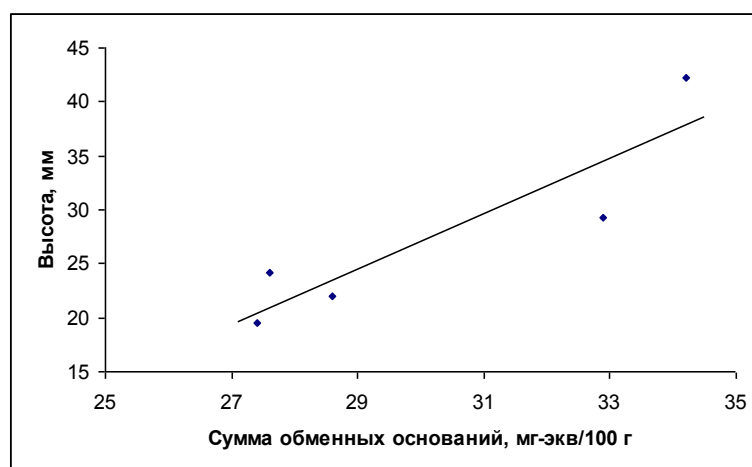


Рис. 33. Зависимость высоты растений (мм) от суммы оснований (мг-экв/100 г почвы) в слое 2-12 см агротемно-серой почвы:

$$y = -49,7 + 2,6 \cdot x; R = 0,90; F = 13,0; p = 0,0008$$

При высоком содержании фосфатов в агропочве, их влияние на высоту и массу растений оказалось не достоверным, по-видимому, количество этого элемента избыточно/достаточно, а продуктивность растений лимитируют другие свойства. Одновременно состояние растений определялось количеством более дефицитного калия (рис. 34, 35).

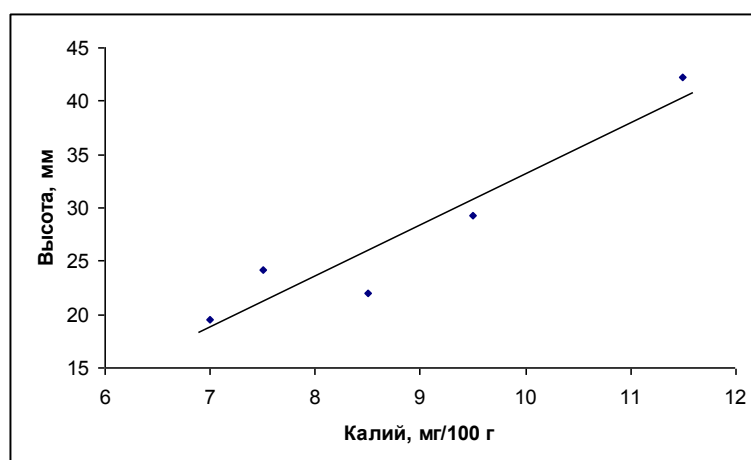


Рис. 34. Зависимость высоты растений (мм) от содержания подвижного калия (мг/100 г) в слое 2-12 см агротемно-серой почвы:

$$y = -14,7 + 4,8 \cdot x; R = 0,95; F = 28,0; p = 0,0001$$

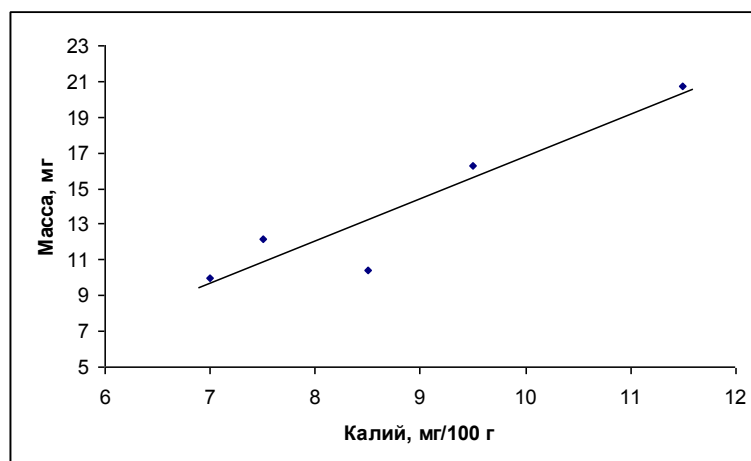


Рис. 35. Зависимость массы растений (мг) от содержания подвижного калия (мг/100 г почвы) в слое 2-12 см агротемно-серой почвы:

$$y = -6,9 + 2,4 \cdot x; R = 0,93; F = 20,5; p = 0,0002$$

При выращивании кресс-салата на пробах из слоя 12-22 см простые линейные зависимости между свойствами агротемно-гумусового горизонта и состоянием растений оказались не существенными. Множественная регрессия связала высоту и массу растений с содержанием гумуса, $pH_{\text{сол}}$, количеством подвижного фосфора и калия. Уравнение множественной регрессии высоты растений (y , мм) от содержания гумуса (x_1 , %), $pH_{\text{сол}}$ (x_2), содержания подвижного фосфора (x_3 , мг/100 г) и калия (x_4 , мг/100 г) имеет вид: $y = 68,2 - 10,8x_1 - 19,4x_2 + 1,2x_3 + 10,1x_4$. У всех коэффициентов уровень значимости $P=0$; введение соответствующих переменных в уравнение на 100 % определяет величину производной – высоту растений. Так, в пробе № 1 $x_1=3,7$, $x_2=5$, $x_3=18,75$, $x_4=6,5$, расчетная и экспериментальная высота растений равны 19,6 мм. В пробе № 2 $x_1=3,88$, $x_2=6,75$, $x_3=48,17$, $x_4=8,5$, расчетная и экспериментальная высота равны 39,4 мм. В пробе № 3 $x_1=5,34$, $x_2=5,87$, $x_3=29,52$, $x_4=8,5$, расчетная и экспериментальная высота кресс-салата равны 18,3 мм.

Уравнение множественной регрессии массы растений (y , мг) от содержания гумуса (x_1 , %), $pH_{\text{сол}}$ (x_2), содержания фосфора (x_3 , мг/100 г) и

калия (x_4 , мг/100 г) имеет вид: $y = 34,1 - 7,7x_1 - 11,7x_2 + 0,7x_3 + 7,6x_4$. У всех коэффициентов уровень значимости $P=0$; введение соответствующих переменных в уравнение на 100 % определяет величину производную – массу растений. Так, в пробе № 1 $x_1=3,7$, $x_2=5$, $x_3=18,75$, $x_4=6,5$, расчетная масса составляет 9 мг, эту величину показал и эксперимент. В пробе № 2 $x_1=3,88$, $x_2=6,75$, $x_3=48,17$, $x_4=8,5$, расчетная и экспериментальная масса растений =21,75 мг. В пробе № 3 $x_1=5,34$, $x_2=5,87$, $x_3=29,52$, $x_4=8,5$, расчетная масса =8,5 мг, что равно экспериментальной величине.

Таким образом, кресс-салат, выращенный на пробах из темно-серой и агротемно-почвы, проявил ответную реакцию на содержание подвижных фосфатов и калия. Высота и масса растений на агропочве зависела от отдельных свойств (рН, содержание гумуса, подвижного фосфора и калия в слое 2-12 см), или от их интегрированного влияния (в слое 12-22 см).

3.3. Ответная реакция тест-культуры на загрязнение почв солями свинца и кадмия

Свинец и кадмий относятся к группе супертоксичных элементов с высокой техногенностью и низкой биогенностью. В почву большинство они попадают с выхлопными газами транспортных средств, с отходами сточных вод, пестицидами, удобрениями, аэрогенными осадками предприятий. В Пермском крае, как в промышленно развитом регионе, имеющем также высокую транспортную нагрузку, в почвах накапливаются Pb, Cd, Zn, Cu, Cr и другие тяжелые металлы (Ворончихина, Запоров, 1998; Еремченко, Москвина, 2005; Васильев, Чашин, 2011; Доклад «О состоянии...», 2014).

Биодоступность тяжелых металлов зависит от типа почвы, уменьшается при повышении рН, наличии других металлов и хелаторов (Серегин, Иванов, 2001, Духовский и др., 2003). В настоящее время развивается представление о техногенной устойчивости почв, которую понимают как потенциальный запас буферности. Устойчивость почв

проявляется в способности к сохранению (до известного предела техногенного воздействия) нормального функционирования этих биокосных систем. Кроме того, устойчивость почв рассматривают как способность к восстановлению нормального функционирования после прекращения техногенного воздействия. В этом случае устойчивость проявляется через способность к интоксикации и самоочищению почв от продуктов техногенеза. Малая продолжительность периода восстановления исходного функционирования почв может служить показателем устойчивости их к техногенному воздействию (Солнцева, 1982; Глазовская, 1997; Горбовская, 2006).

Известно, что буферность почв по отношению к тяжелым металлам зависит от кислотно-основных, ионообменных, окислительно-восстановительных свойств, от качества и количества органических веществ, прочности поглощающего комплекса и других показателей.

Влияние загрязнения почв на активность Cd и состояние тест-культуры.

Наши экспериментальные данные показали существенную зависимость подвижности кадмия от почвенной кислотности природных почв (рис. 35). Согласно регрессионной зависимости, повышение $pH_{\text{сол}}$ от 3 до 5 при одной дозе загрязнения почв сопровождалось повышением активности Cd на 2 порядка.

Зависимость подвижности кадмия от $pH_{\text{вод}}$ в загрязненных природных почвах (слой 2-12 см) описывается следующим уравнением: $y = 0,397 + 0,736 x$; $R = 0,69$; $F = 7,1$; $p = 0,002$; для слоя 12-22 см уравнение имеет вид: $y = 4,04 + 0,26 * x$; $R = 0,68$; $F = 6,9$; $p = 0,0002$.

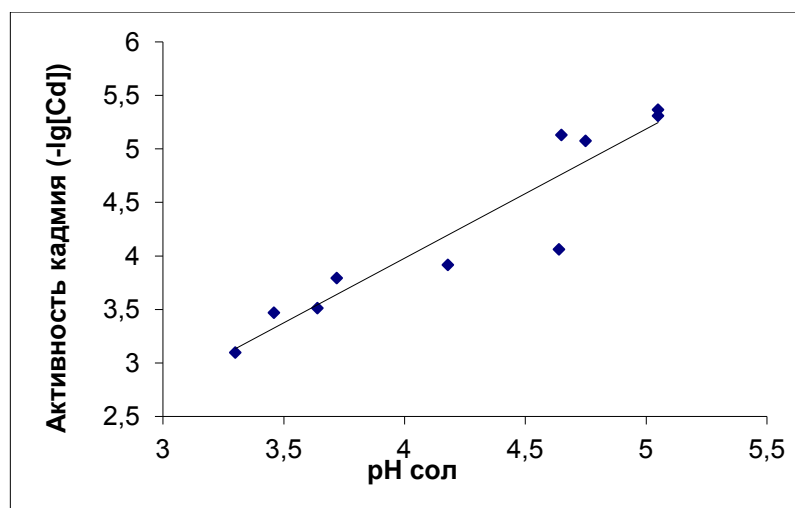


Рис. 35. Зависимость подвижности кадмия ($-\lg[\text{Cd}]$) от $\text{pH}_{\text{сол}}$ в загрязненных природных почвах: $y = -0,85 + 1,207 x$; $R = 0,94$; $F = 59,4$; $p = 0$

Не меньшее влияние на подвижность металла оказало содержание гумуса в почвах. С ростом количества гумуса от минимальных до максимальных величин подвижность кадмия снижалась более, чем на 2 порядка (рис. 36). Совместное действие $\text{pH}_{\text{сол}}$ (x_1) и гумуса (x_2) еще сильнее сказалось на активности металла: $y = -0,509 + 1,086 x_1 + 0,027 x_2$; $R = 0,94$; $F = 27,3$; $p = 0,001$.

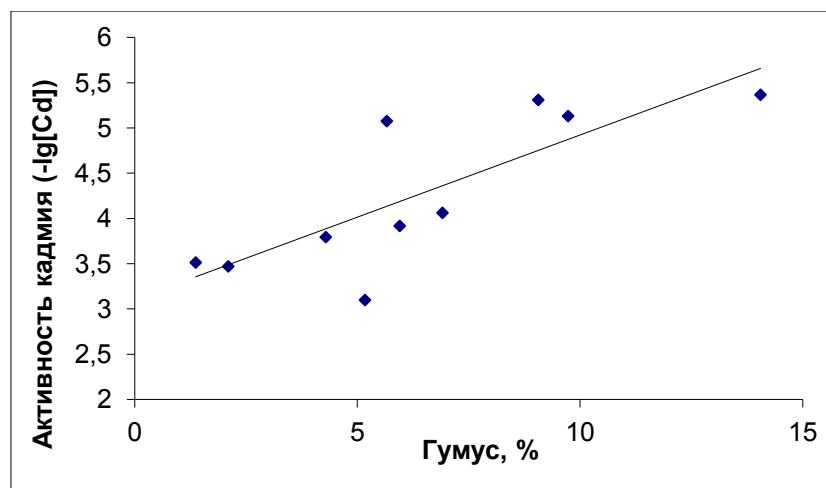


Рис. 36. Зависимость подвижности кадмия ($-\lg[\text{Cd}]$) от количества гумуса в загрязненных природных почвах (%):

$$y = 3,104 + 0,182 x; R = 0,80; F = 13,8; p = 0$$

Подвижность кадмия в почвах тесно коррелировала с высотой и массой растений (рис. 37, 38). При активности металла $(-\lg[\text{Cd}]) = 3-4$ (псаммозем, дерново-неглубокоподзолистая почва) высота растений не превышала 1-2 см, а общая масса 0,4 г; а при активности $(-\lg[\text{Cd}]) > 5$ (чернозем, темно-серая и серая почвы) высота превышала 5 см, общая масса растения – 1 г.

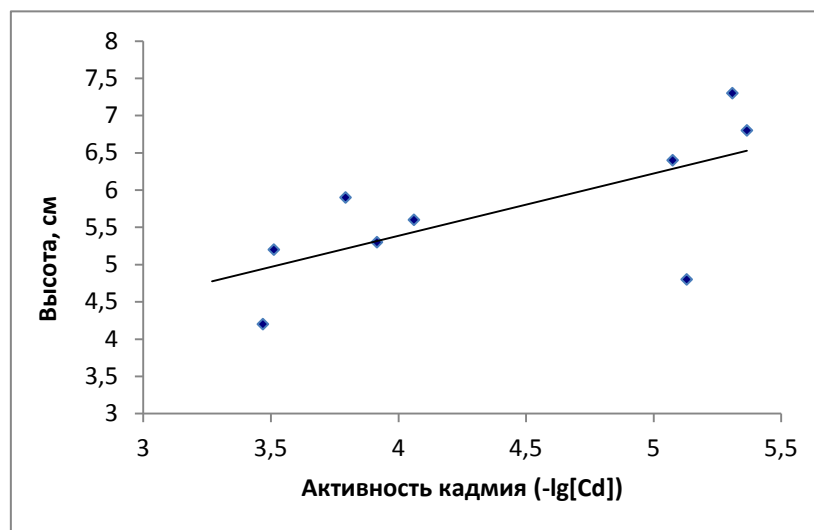


Рис. 37. Зависимость высоты кресс-салата (см) от подвижности кадмия ($-\lg[\text{Cd}]$) в загрязненных природных почвах:

$$y = -8,486 + 2,628 x; R = 0,95; F = 44,3; p = 0$$

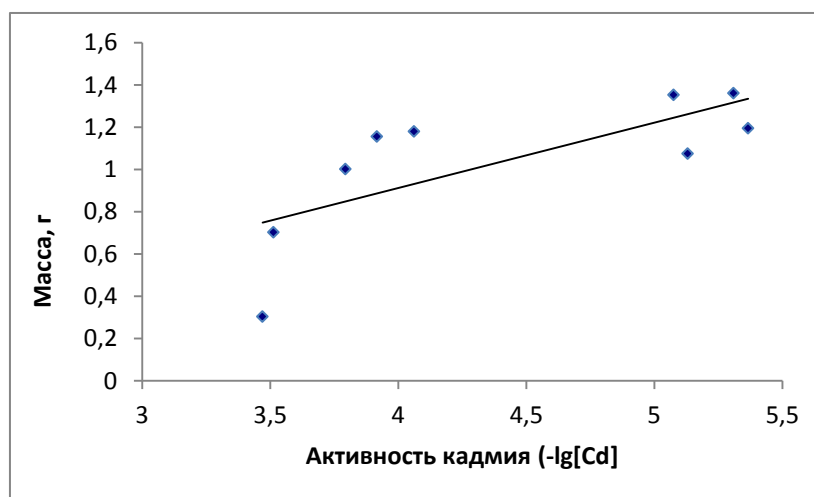


Рис. 38. Зависимость общей массы кресс-салата (г) от подвижности кадмия ($-\lg[\text{Cd}]$) в загрязненных природных почвах:

$$y = -2,297 + 0,638 x; R = 0,98; F = 104,8; p = 0$$

Активность каталазы также была чувствительным показателем на загрязнение почв кадмием (рис. 39). Интенсивность выделения углекислого газа («дыхание») показало более слабую зависимость от подвижности кадмия: $y = 1,974 + 3,553 x$; $R = 0,49$; $F = 2,5$; $p = 0,035$.

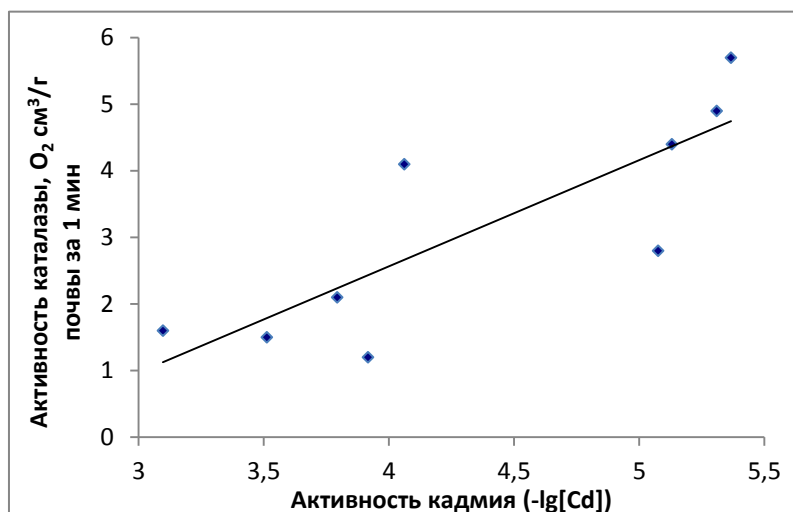


Рис. 39. Зависимость активности каталазы (O₂ см³/г за 1 мин) от подвижности кадмия (-lg[Cd]) в загрязненных природных почвах:

$$y = -2,921 + 1,262 x; R = 0,85; F = 20,9; p = 0$$

Подвижность кадмия в загрязненных темно-серых почвах также зависела от актуальной и обменной кислотности (рис. 40, 41). Для слоя 12-22 см темно-серых и агротемно-серых загрязненных почв уравнение зависимости подвижности кадмия от $pH_{вод}$ выглядит следующим образом: $y = 4,04 + 0,26 * x$; $R = 0,68$; $F = 6,9$; $p = 0,0002$; зависимость подвижности кадмия от $pH_{сол}$ описывает уравнение – $y = 4,3 + 0,26 * x$; $R = 0,75$; $F = 10,2$; $p = 0$.

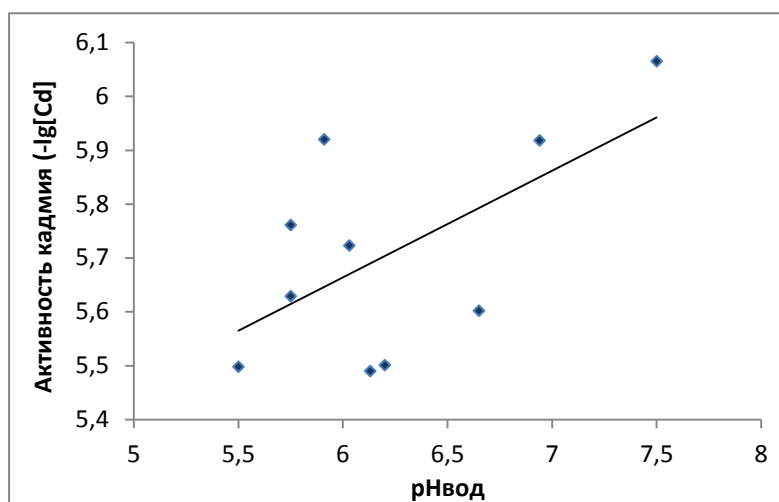


Рис. 40. Зависимость подвижности кадмия ($-\lg[\text{Cd}]$) от $\text{pH}_{\text{вод}}$ в слое 2 -12 см загрязненных темно-серых почв:

$$y = 4,5 + 0,19 \cdot x; R=0,6; F=4,5; p=0,0022$$

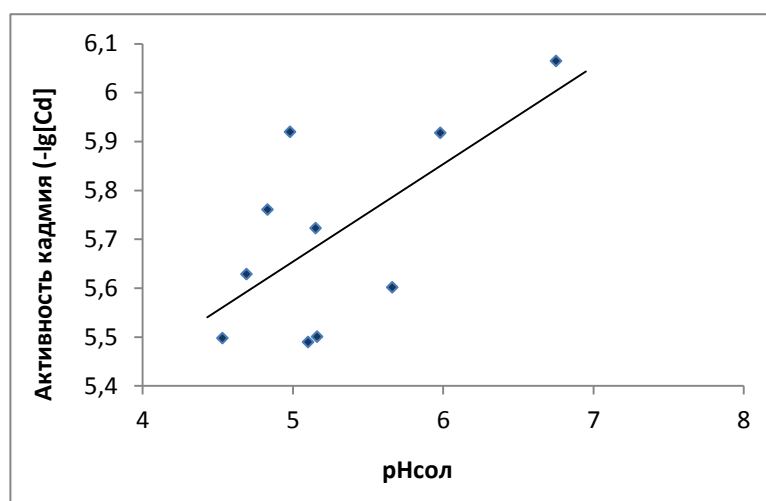


Рис. 41. Зависимость подвижности кадмия ($-\lg[\text{Cd}]$) от $\text{pH}_{\text{сол}}$ в слое 2 -12 см загрязненных темно-серых почв:

$$y = 4,7 + 0,19 \cdot x; R=0,66; F=6,2; p=0,0004$$

Между активностью кадмия и показателями состояния тест-культуры, выращенной на пробах из верхней части темного гумусовых горизонтов, прослежена тесная зависимость, коэффициенты корреляции от 0,76 до 0,80 (рис. 42). Зависимость массы растений от подвижности кадмия демонстрирует уравнение – $y = -71,6 + 14,7 \cdot x; R = 0,76, F = 10,0; p = 0$. Для слоя 12-22 см этих связей не обнаружено.

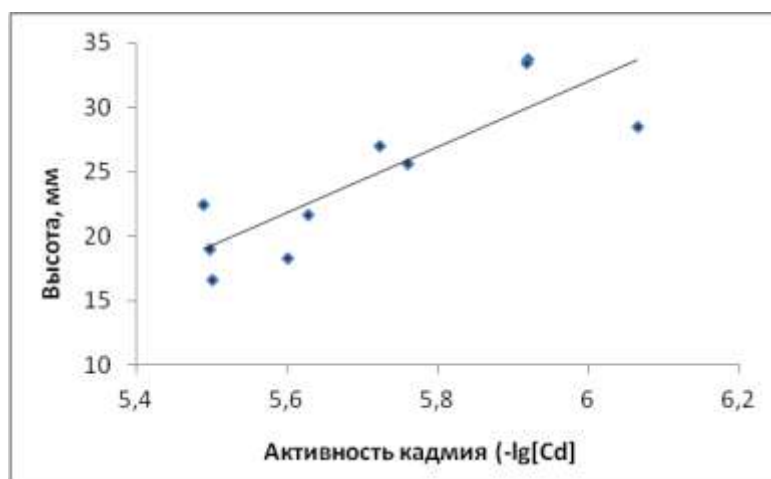


Рис. 42. Зависимость высоты растений (мм) от подвижности кадмия ($-\lg[\text{Cd}]$), в слое 2-12 см загрязненных темно-серых почв:

$$y = -116,8 + 24,8 \cdot x; R = 0,84, F = 19,8; p = 0$$

Интегральной тест-реакцией на загрязнение почв может служить не только угнетение роста и развития растений, но и неспецифическая физиолого-биохимической реакция, сопровождающая окислительный стресс, следствием которого является повышение восстановительной активности растительных экстрактов (Еремченко и др., 2014).

С увеличением подвижности кадмия в слое 2-12 см загрязненных темно-серой и агротемно-серой почв прослежена тенденция к повышению редокс-активности растений (рис. 43).

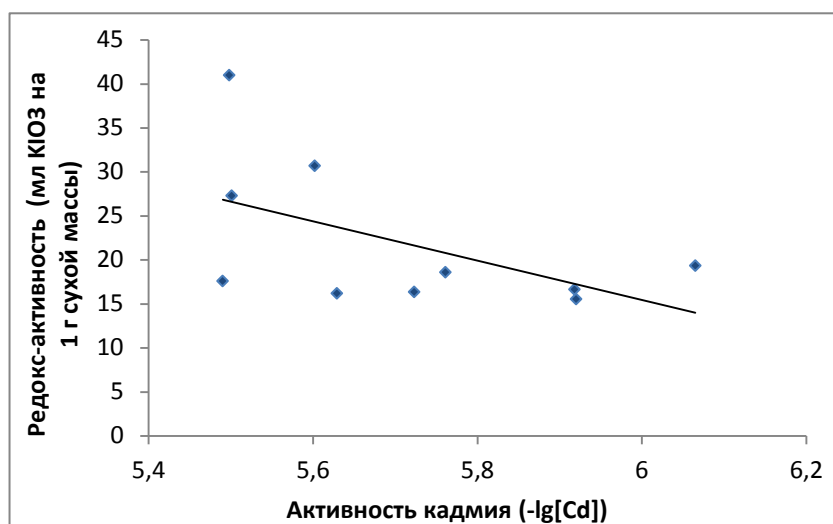


Рис. 43. Зависимость редокс-активности (мл KIO₃ на 1 г сухой массы) от подвижности кадмия (-lg[Cd]) в слое 2-12 см темно-серой и агро темно-серой почв: $y = 151,6 - 22,7 \cdot x$; $R = -0,54$, $F = 3,4$; $p = 0,0097$

Между подвижностью кадмия и редокс-активностью растений, при выращивании на загрязненных пробах из слоя 12-22 см темно-серой и агро темно-серой почв, регрессионной зависимости не обнаружено.

Получила подтверждение биохимическая реакция растений на загрязнение почвы сульфатом кадмия; регрессионный анализ показал обратную зависимость между редокс-активностью и высотой растений (слой 2-12 см) (рис. 44). Зависимость массы растений (мм) и редокс-активности (мл KIO₃ на 1 г сухой массы) в слое 2-12 см темно-серой и агро темно-серой почв при загрязнении кадмием описана уравнением: $y = 19,06 - 0,32 \cdot x$; $R = -0,66$, $F = 6,27$; $p = 0,0004$.

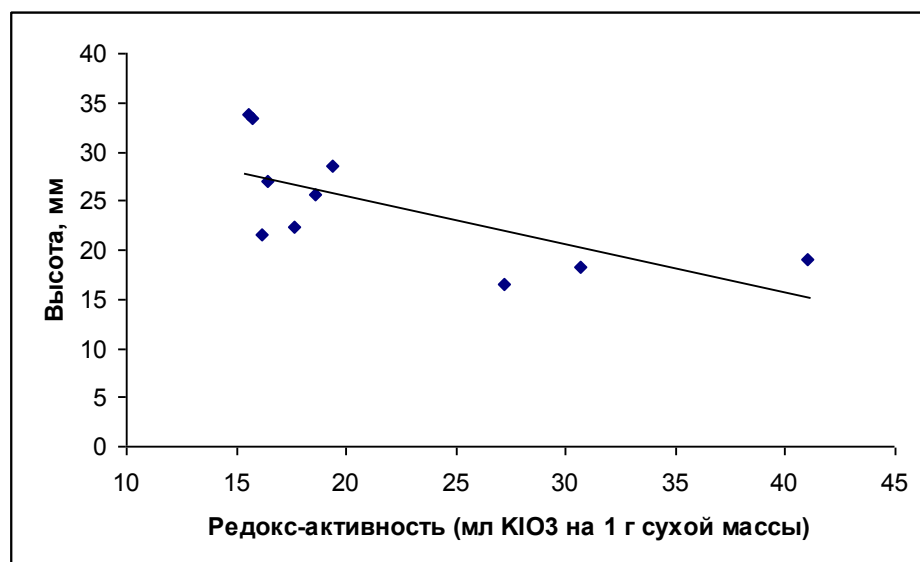


Рис. 44. Зависимость между высотой растений (мм) и редокс-активностью (мл KIO₃ на 1 г сухой массы), слой 2-12 см темно-серой и агротемно-серой почв при загрязнении кадмием:

$$y = 35,3 - 0,49x; R = 0,68, F = 7,03; p = 0,0002$$

Влияние загрязнения почв на активность Pb и состояние тест-культуры.

Нами выявлена зависимость подвижности свинца от pH_{сол} загрязненных природных почв (рис.45).

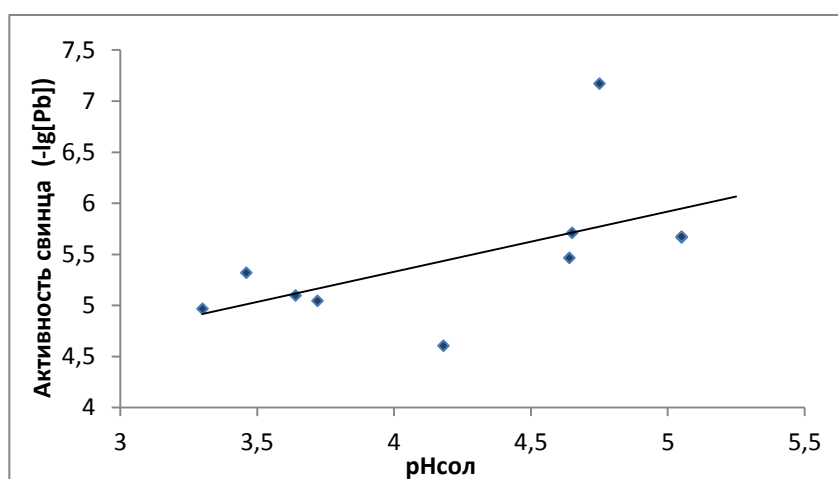


Рис. 45. Зависимость между подвижностью свинца ($-\lg[Pb]$) и pH_{сол} в загрязненных природных почвах: $y = 2,95 + 0,59x$; $R = 0,57$;

$$F = 3,8; p = 0,005$$

Загрязнение почв нитратом свинца не повлияло на высоту тест-культуры, однако установленная отрицательная зависимость общей массы кресс-салата от подвижности свинца (рис.46). Возможно, более слабая реакция на загрязнение солью свинца по сравнению с кадмием, обусловлена питательным значением нитрат-иона.

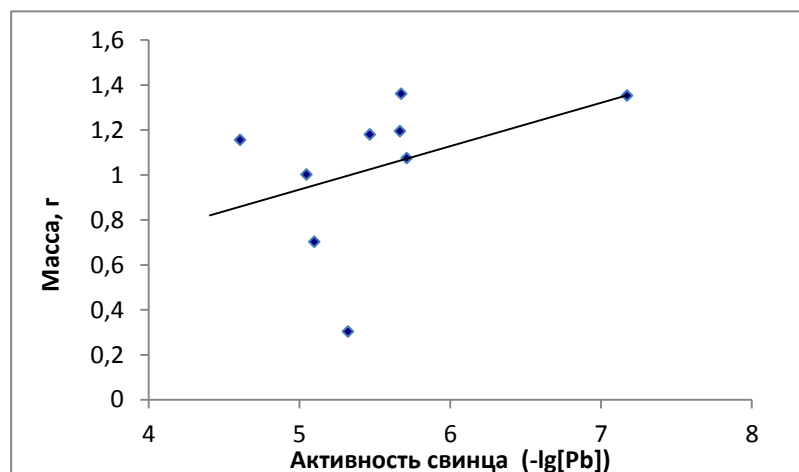


Рис. 46. Зависимость общей массы кресс-салата (г) от подвижности ($-\lg[\text{Pb}]$) в почвах: $y = -1,451 + 0,415 x$; $R = 0,58$; $F = 4,1$; $p = 0,004$

В загрязненных темно-серых почвах прослежена средняя зависимость подвижности свинца от содержания гумуса в верхнем слое 2-12 см: $y = 8,1 - 0,1 \cdot x$; $R = -0,57$; $F = 3,9$; $p = 0,0047$, но подобная связь не проявилась в слое 12-22 см.

В обоих слоях загрязненных темно-серых почв получена тесная зависимость подвижности свинца ($-\lg[\text{Pb}]$) от актуальной (рис. 47) и обменной кислотности почв (рис. 48).

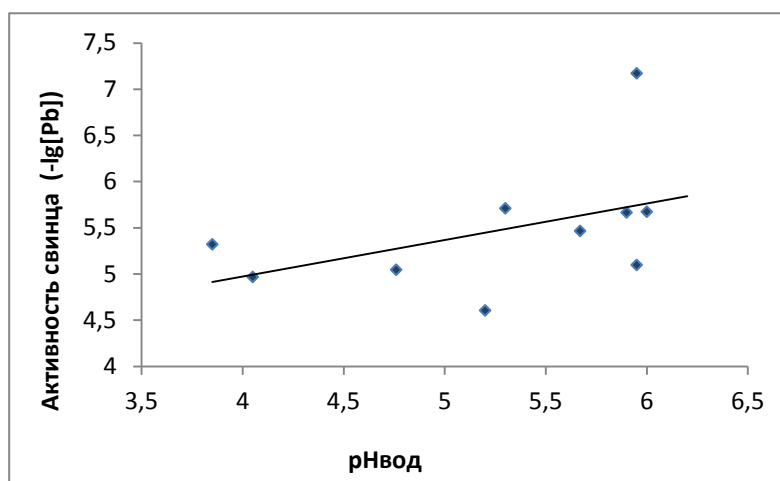


Рис. 47. Зависимость подвижности свинца ($-\lg[\text{Pb}]$) от $\text{pH}_{\text{вод}}$ в слое 2 -12 см загрязненных темно-серых почв: $y = 1,8 + 0,9 \cdot x$; $R=0,70$; $F=18,9$; $p=0$

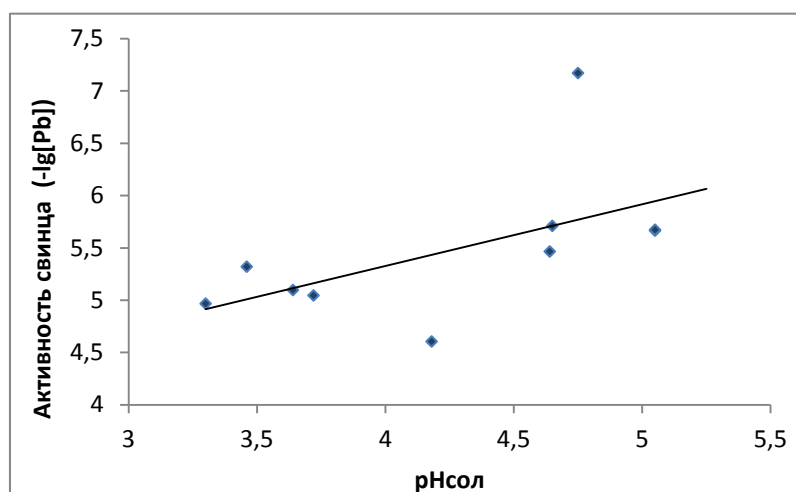


Рис. 48. Зависимость подвижности свинца ($-\lg[\text{Pb}]$) от $\text{pH}_{\text{сол}}$ в слое 2 -12 см загрязненных темно-серых почв: $y = 2,9 + 0,84 \cdot x$; $R=0,75$; $F=23,4$; $p=0$

Для слоя 12-22 см темно-серой и агротемно-серой почв также обнаружена зависимость подвижности свинца от $\text{pH}_{\text{вод}}$: $y = 1,2 + 0,97 \cdot x$; $R=0,64$; $F=14,3$; $p=0$; и $\text{pH}_{\text{сол}}$: $y = 2,3 + 0,95 \cdot x$; $R=0,73$; $F=21,5$; $p=0$.

Между каталазной активностью, интенсивностью дыхания и подвижностью свинца существенных зависимостей не обнаружено.

Высота и масса растений, выращенных на пробах из верхней части гумусового горизонта, достоверно связаны с активностью свинца (рис. 49, 50). При выращивании на пробах из слоя 12-22 см проявилась средняя по

силе зависимость между массой растений и подвижностью свинца, которую описывает уравнение: $y = -12,2 + 4,07 \cdot x$; $R = 0,56$, $F = 3,6$; $p = 0,007$, но на высоту растений действие активности загрязнителя оказалось не достоверным.

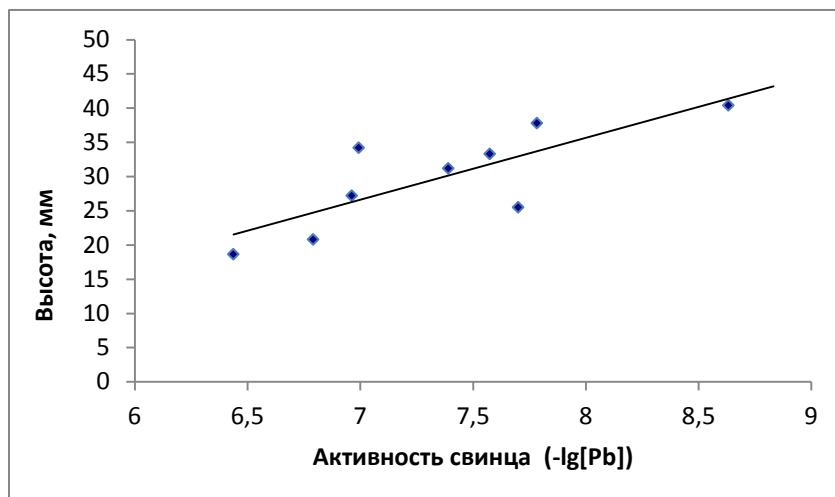


Рис. 49. Зависимость высоты растений (мм) от подвижности свинца ($-\lg[\text{Pb}]$), в слое 2-12 см загрязненных темно-серых почв:

$$y = -36,7 + 9,064 \cdot x; R = 0,80, F = 12,1; p = 0$$

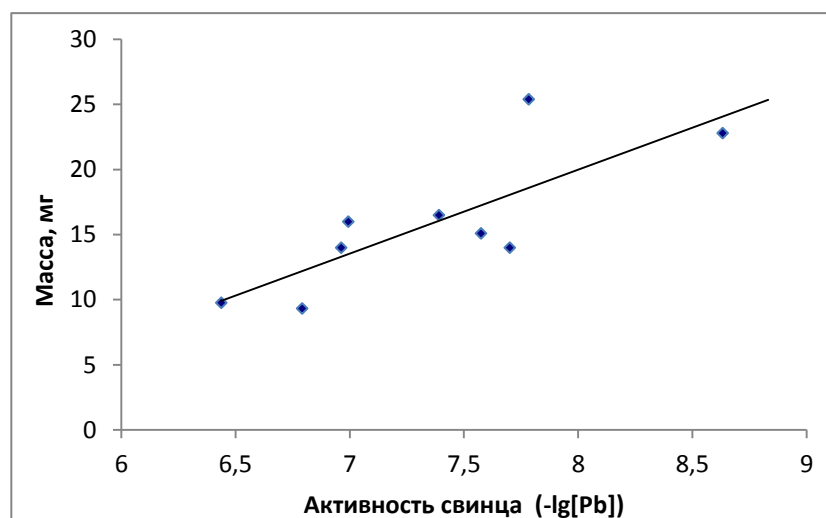


Рис. 50. Зависимость массы растений (мг) от подвижности свинца ($-\lg[\text{Pb}]$) в слое 2 - 12 см загрязненных темно-серых почв:

$$y = -31,61 + 6,4 \cdot x; R = 0,80, F = 11,9; p = 0$$

В слое 2-12 см природной и агропочвы между подвижностью свинца и редокс-активностью найдена регрессионная зависимость (рис. 51). Увеличение подвижности металла в почве сопровождалось усилением

редокс-активности в тест-культуре. Зависимости между редокс-активностью и подвижностью свинца для слоя 12-22 см темно-серой и агротемно-серой почв при загрязнении не обнаружено.

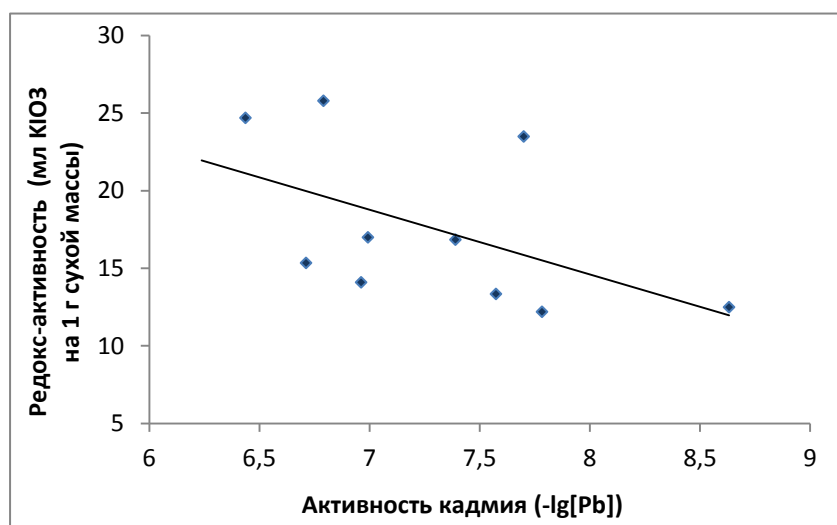


Рис. 51. Зависимость редокс-активности (мл KIO₃ на 1 г сухой массы) от подвижности свинца (-lg[Pb]) в слое 2-12 см темно-серой и агротемно-серой почв: $y = 48,01 - 4,2 \cdot x$; $R = -0,52$, $F = 3,002$; $p = 0,0165$

Растения, выращенные на загрязненных свинцом пробах из темно-серой почвы и агротемно-серой почвы (слой 2-12 см), показали тесную обратную связь между высотой, массой и редокс-активностью (рис. 52). Зависимость средней массы растений (мг) от редокс-активности (мл KIO₃ на 1 г сухой массы) в слое 2-12 см темно-серой и агротемно-серой почв при загрязнении свинцом описывается уравнением: $y = 31,73 - 0,85 \cdot x$; $R = -0,75$, $F = 11,06$; $p = 0$

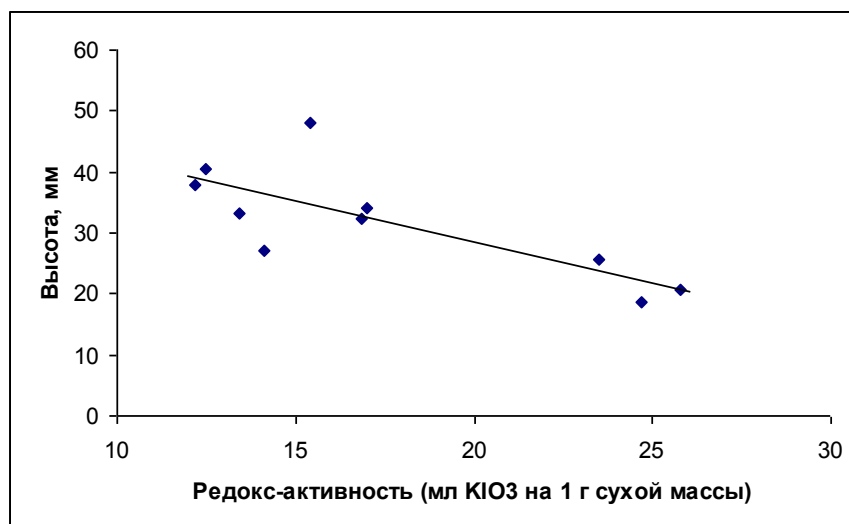


Рис. 52. Зависимость высоты растений (мм) от редокс-активности (мл KIO_3 на 1 г сухой массы), слой 2-12 см темно-серой и агротемно-серой почв при загрязнении свинцом: $y = 55,01 - 1,32 \cdot x$; $R = -0,76$, $F = 11,2$; $p = 0$

При загрязнении нитратом свинца почвы из слоя 12-22 см темно-серой и агротемно-серой почв, зависимости между высотой, массой кресс-салата и редокс-активностью не обнаружены.

Выбор тест-контроля

Проблема применения метода тестирования на антропогенных почвах и ТПО заключается в выборе контроля. В природе не существует аналогов этих образований, их токсичность и низкая биоактивность может быть обусловлена множеством загрязнителей и общими неблагоприятными свойствами. Оптимальным контролем могла бы служить система с воспроизводимыми свойствами, благоприятными для роста и развития растений. В некоторых работах используется вода (Русанов и др., 2015), что, на наш взгляд, занижает уровень контрольных растений и не позволит правильно оценить состояние почвоподобного образования.

Нами было сделано предположение, что тест-контролем может служить корневой субстрат, при выращивании на котором у кресс-салата будут морфометрические значения, не уступающие растениям на

плодородных региональных почвах. Такой тест-контроль послужит для сравнительной оценки биологической активности и токсичности глубоко трансформированных почв и почвоподобных образований. Для выявления подходящего тест-контроля мы выращивали кресс-салат на питательном растворе Кнопа, в качестве субстрата использовался вермикулит. Оценку данному субстрату дали путем сравнения с растениями, выращенными на черноземе, дерново-подзолистой, серой и темно-серой почвах.

У растений, выращенных на пробах из чернозема, средняя высота понижена на 33-27% по сравнению с тест-контролем (рис. 53). На темно-серой почве, несмотря на высокое содержание гумуса и высокую емкость поглощения, растения были ниже уже на 54-63 %. У растений на серой почве высота снизилась на 60-73%, а у растений на серогумусовом горизонте дерново-подзолистой почвы были ниже на 57% относительно контроля. Таким образом, наиболее благоприятными для растений были свойства темного гумусового горизонта чернозема, однако, растения были все же на 30 % ниже, чем на вермикулите с питательным раствором. По-видимому, питательные вещества на вермикулите оказались доступнее.

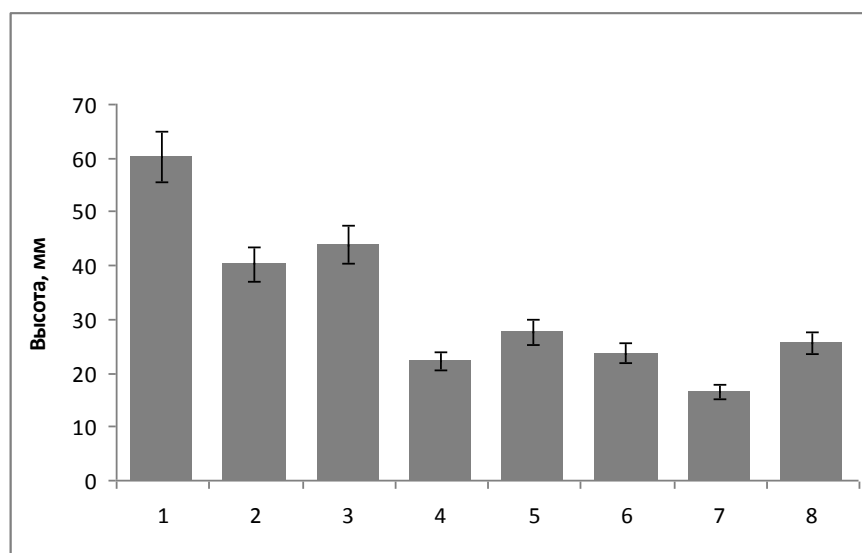


Рис. 53. Высота тест-культуры, мм: 1 – вермикулит; 2 – чернозем, 2-12 см; 3 – чернозем, 15-25 см; 4 – темно-серая, 2-12 см; 5 – темно-серая, 12-22 см; 6 – серая, 0-20 см; 7 – серая, 20-30 см; 8 – дерново-подзолистая, 2-10 см

Масса одного растения на тест-контроле на 44-33% выше, чем на черноземе, на 70-63% ниже, чем на темно-серой почве и на 63-74% ниже, чем на серой и дерново-подзолистой почвах (рис.54).

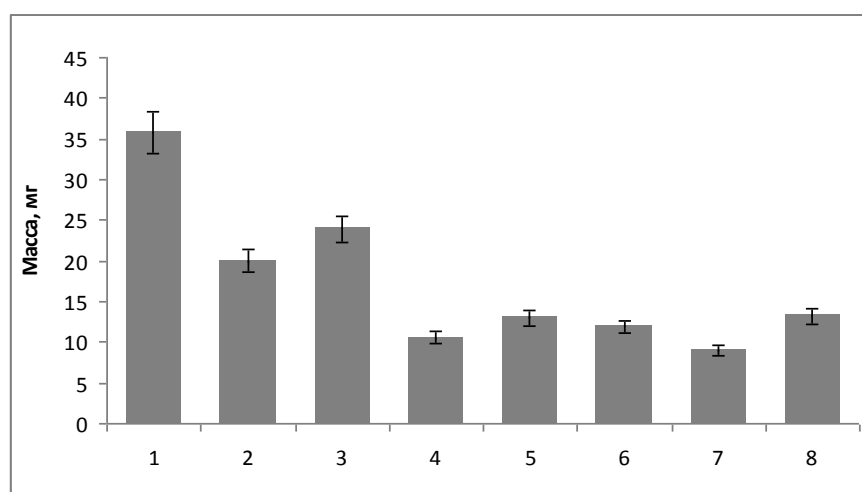


Рис. 54. Масса тест-культуры, мг: 1 – вермикулит; 2 – чернозем, 2-12 см; 3 – чернозем, 15-25 см; 4 – темно-серая, 2-12 см; 5 – темно-серая, 12-22 см; 6 – серая, 0-20 см; 7 – серая, 20-30 см; 8 – дерново-подзолистая, 2-10 см

Таким образом, кресс-салат, выращенный на вермикулите с питательной средой можно использовать в качестве тест-контроля при оценке состояния антропогенных почв и почвоподобных образований. На этом варианте прослежена более высокая продуктивность кресс-салата, чем у растений, выращенных на плодородных почвах (чернозем, темно-серая почва) Пермского края. В отличие от почв данная корневая среда просто воспроизводится, питательный раствор Кнопа имеет вполне определенный состав.

Нами предложено, при снижении показателей развития кресс-салата на 10-30% относительно тест-контроля утверждать, что состояние почвы или почво-грунта считать удовлетворительным; при снижении на 30–50% – неудовлетворительным; а при уровне снижения показателей на более 50% – считать экологически опасным. На описанную методику оценки биологической активности и токсичности почв получен патент (Еремченко, Митракова, 2016).

На основании материалов, изложенных в данной главе были сделаны следующие выводы:

1. Кресс-салат в качестве тест-культуры показал положительную ответную реакцию (по высоте и массе растений) на содержание гумуса, насыщенность основаниями, количество подвижных фосфатов и калия, отрицательную реакцию – на актуальную и обменную кислотность в основных почвах Пермского края.

2. Подвижность и токсичность тяжелых металлов усиливалась с ростом кислотности и снижением гумусированности загрязненных почв. С повышением в почвах подвижности тяжелых металлов ($-\lg [\text{Pb}, \text{Cd}] < 4$) отмечено снижение высоты и массы кресс-салата и повышение редокс-активности растительного экстракта.

3. Кресс-салат рекомендуется использовать при тестировании биологической активности, токсичности почв и техногенных поверхностных образований в регионе, т.к. эта культура проявила ответную реакцию на основные показатели почвенного плодородия и активность тяжелых металлов. В качестве тест-контроля – применять показатели состояния кресс-салата, выращенного на вермикулите с питательным раствором Кнопа.

4. Каталазная активность почв усиливалась с повышением содержания гумуса, а также со снижением почвенной кислотности и подвижности кадмия. Между высотой и массой кресс-салата и активностью фермента установлена положительная зависимость средней силы.

5. Интенсивность «дыхания» почв прямопропорционально связана с гумусированностью исследуемых природных почв Пермского края, выявлена также слабая связь с подвижностью кадмия. Таким образом, данный показатель биологической активности оказался наименее информативен при тестировании почв.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ТОКСИЧНОСТИ ГОРОДСКИХ ПОЧВ И ТЕХНОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Городские почвы – генетически самостоятельные образования, обладающие, как чертами зональных почв, так и специфическими свойствами. Несмотря на нарушенность и искусственное создание почвенного профиля, большую засорённость его разного рода включениями, в нем протекают процессы гумусообразования, выноса и перераспределения минерального вещества, глееобразования. Степень выраженности этих процессов различна, зависит от возраста почв, условий использования участка и других обстоятельств (Почва, город..., 1997; Антропогенные почвы..., 2003; Прокофьева и др., 2014; Еремченко и др., 2016).

В многочисленных исследованиях дана характеристика современного состояния почвенного покрова городов. В них отмечается, что интервал колебаний в содержании органического вещества достаточно велик, и зависит от исходных почв, от применения торфокомпоста, привноса органического мусора, органических и минеральных удобрений и т.д. (Земляницкий и др., 1962; Строганова, Агаркова, 1992; Александрова, 2001; Дабахов, Титова, 2002; Зуев и др., 2002; Салихова, Савостина, 2002; Антропогенные почвы..., 2003; Попков, 2004; Водяницкий, 2015; Еремченко и др., 2016). В городах, расположенных в лесных и лесостепных зонах, как правило, отмечали подщелачивание почв (Груздев, 1991; Тренды трансформации..., 1994; Ильин и др., 1997; Почва, город...1997; Еремченко и др., 2001; Дабахов, Титова, 2002; Салихова, Савостина, 2002; Александрова, 2004; Артамонова и др., 2004; Дабахов, Асташина, 2004; Наквасина и др., 2004; Попков, 2004). Изменения в составе обменных оснований неоднозначны; так, в почвах Москвы, Варшавы, Калининграда, Нижнего Новгорода, Архангельска прослежена тенденция к увеличению содержания обменных оснований (Тренды трансформации..., 1994; Почва, город..., 1997;

Салихова, Савостина, 2002; Дабахов, Асташина, 2004; Наквасина и др., 2004), а в почвах Воронежа их количество уменьшалось (Щербаков, 1995). Элементы питания растений (N, P, K) в городских почвах распределяются неравномерно, содержание их подвижных форм колеблется от минимального и до максимального уровня (Земляницкий и др., 1962; Строганова, Агаркова, 1992; Тренды трансформации..., 1994; Еремченко и др., 2001; Дабахов, Титова, 2002; Попков, 2004). В почвах городов прослежено повышение карбонатности и содержания водорастворимых солей (Тренды трансформации..., 1994; Ильин и др., 1997; Почва, город..., 1997; Еремченко и др., 2001; Артамонова и др., 2004; Дабахов, Асташина, 2004; Зуев, 2004; Наквасина и др., 2004).

В результате промышленно-бытовой деятельности в окружающую среду городов поступают загрязняющие вещества в составе твёрдых отходов, стоков, газовых и пылевых выбросов. Городские почвы аккумулируют все виды загрязняющих веществ, а в ответ на загрязнение изменяется биологическая активность и способность их выполнять экологические функции (Почва, город..., 1997; Антропогенные почвы..., 2003; Макаров, Макаров, 2014; Трифонова, Забелина, 2017). В почвенном покрове наблюдается слияние аномалий от отдельных источников загрязнения в единую геохимическую аномалию (Методические рекомендации ..., 1987, 1999; Колесников и др., 2001a). Для городов разных регионов мира характерно накопление тяжелых металлов; городские экологи отмечают загрязнение в первую очередь Pb, As, Cu, Zn, Cd, Ni (Методические рекомендации..., 1987, 1999; Почва, город..., 1997; Дабахов, Титова, 2002; Зуев и др., 2002; Салихова, Савостина, 2002; Антропогенные почвы..., 2003; Александрова, 2004; Гулевич, 2004; Ильин, 2004; Vodyanitskii, Savichev, 2016). Так, содержание свинца в почвах Перми может достигать 1500 мг/кг почвы, меди – 150 мг/кг, для почв и ТПО характерно накопление этих металлов с превышением ОДК, однако их подвижность не превышает порог ранее установленной токсичности (Еремченко и др., 2016). При низком

содержании кадмия, всего 0,3 мг/кг (Доклад «О состоянии...», 2014), его подвижность выше, чем подвижность свинца и меди.

Помимо «приоритетных» загрязнителей могут накапливаться и малоизученные – Bi, Ce, Nb, Sc, Sn, Sr, W, Zr (Ильин, 2004). В почвах городов, образованных на насыпных грунтах, часто перекрывающих загрязненные отходами слои, верхний горизонт может характеризоваться относительно невысоким содержанием загрязнителей, тогда как ниже по разрезу происходит увеличение их концентрации. Не исключается нисходящая миграция тяжелых металлов, особенно в том случае, когда техногенные осадки или продукты обладают достаточной растворимостью и в верхних горизонтах почвы отсутствуют или слабо развиты геохимические барьеры (Методические рекомендации ..., 1987, 1999; Ильин, 1991; Колесников и др., 2001a, 2001b; Еремченко, Москвина, 2005, Еремченко и др., 2016).

Мозаичная структура почвенного покрова городов обусловлена частой сменой почв и наличием техногенных поверхностных образований. В связи с этим изучение почвенного покрова города, опирающееся на понятия урбопедокомплексов, значительно облегчает оценку и последующий мониторинг эколого-биологического состояния почвенного покрова (Шестаков и др., 2014; Еремченко и др., 2016). Наши исследования почв и техногенных поверхностных образований в жилых районах г. Перми были приурочены к ключевым участкам (КУ), выделенным в пределах 4-х урбопедокомплексов (см. приложение 4):

КУ-1 – в пределах УПК на элювиально-делювиальных суглинках (микрорайон Центр); КУ-2 – в УПК на древнеаллювиальных песках (микрорайон Парковый); КУ-3 – в УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями (микрорайон Верхние Муллы); КУ-4 – в УПК на аллювиальных породах (микрорайон Заимка).

4.1. Состояние почв и техногенных поверхностных образований в урбопедокомплексе на элювиально-делювиальных суглинках

Свойства почв и техногенных поверхностных образований

В КУ-1 на основе морфологических признаков более 50% почвенных разностей были идентифицированы как урбостратоземы торфяно-эутрофированные (рис. 55), которые формировались при неоднократном внесении низинного торфа. Собственно урбостратоземы имели более светлую окраску, не имели морфологических и химических признаков окультуривания. Квазиземы – относительно молодые образования, внесение торфа было однократным, в них остается заметной граница между нанесенным слоем и минеральным грунтом. В квазиземах торфяных, в отличие от квазиземов компостно-гумусовых, «свежий» органогенный слой сохранил морфологическое и химическое сходство с торфом. Исследуемый участок расположен в наиболее старой части города, поэтому в почвенном покрове достаточно распространены признаки окультуривания.

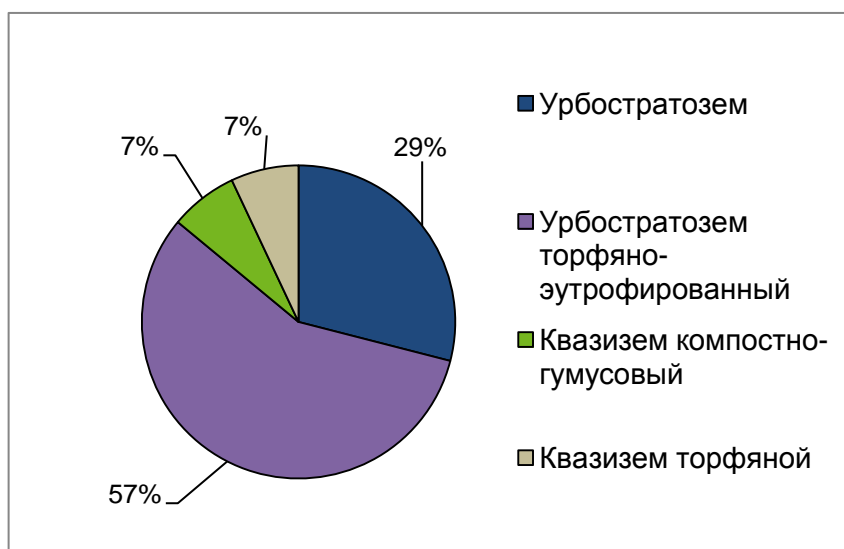


Рис.55. Соотношение урбостратоземов и квазиземов КУ-1 в УПК на элювиально-делювиальных суглинках

Свойства урбостратоземов и квазиземов оценили по критериям, предложенным В.Ф. Вальковым и др. (2004). Содержание органического

углерода в почвах КУ-1 варьировало значительно – от 0,7 до 27,3% (рис. 56; приложение 8, табл. 1). Низкий уровень содержания органического углерода установили в урбостратоземах – 0,7-2,9%, для урбостратоземов торфяно-эутрофированных отмечен диапазон колебаний составлял от 3,1% до 8,9%, что указывает на высокий уровень гумусированности. Квализемы характеризовались очень высоким содержанием органического углерода, от 10,7% до 27,3% (квализем торфяной).

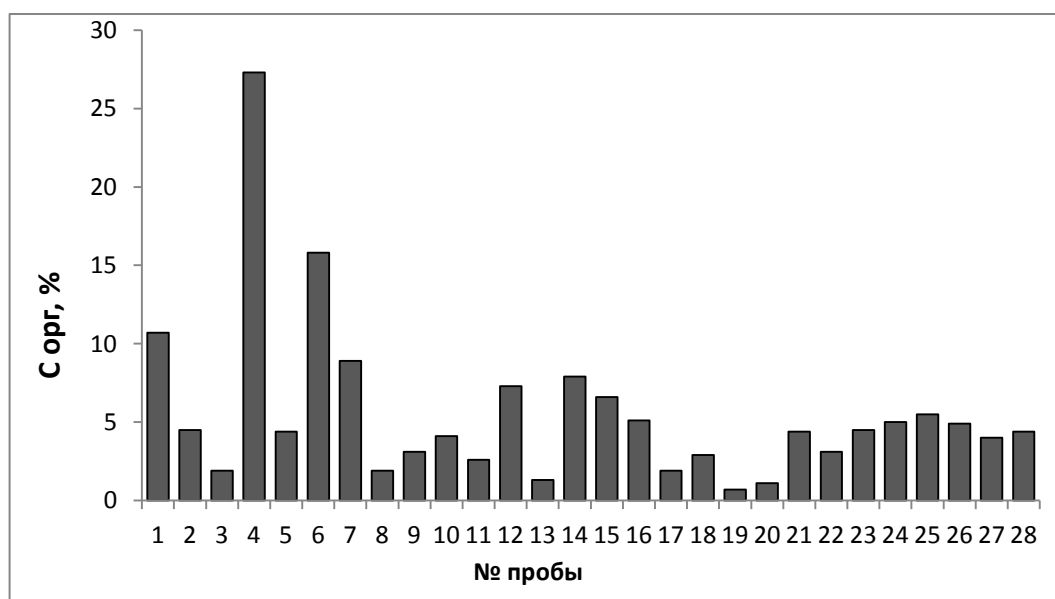


Рис. 56. Содержание органического углерода ($C_{\text{орг}}$, %) в урбостратоземах и квазиземах в УПК на элювиально-делювиальных суглинках (КУ-1)

Здесь и далее в данном УПК: 1, 5 – квазизем компостно-гумусовый; 4, 6 – квазизем торфяной; 2, 7, 9, 10, 12, 16, 21-28 – урбостратозем торфяно-эутрофированный; 3, 8, 11, 13-15, 17-20 – урбостратозем.

Значения актуальной кислотности варьировали в широких пределах – 4,64 – 8,08 рН (рис. 57; приложение 8, табл. 1). Реакция среды изменялась преимущественно от нейтральной до щелочной, но для квазиземов характерна очень сильно-, сильно- и слабокислая реакция. Значения $pH_{\text{сол}}$ также указывали на щелочно-нейтральный характер большинства почв исследуемого КУ.

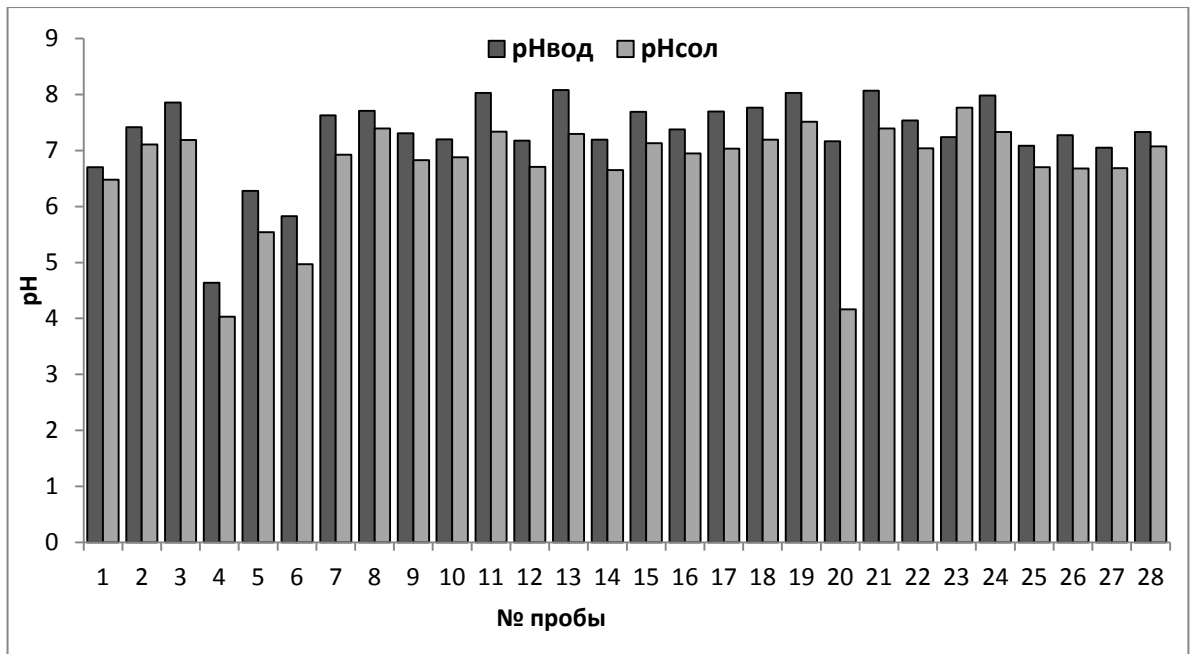


Рис. 57. Величина pH урбостратоземов и квазиземов в УПК на элювиально-делювиальных суглинках (КУ-1)

Ёмкость катионного обмена урбостратоземов и квазиземов варьировала в широких пределах – от 11,5 до 88,5 мг-экв/100 г почвы (рис. 58; приложение 8, табл. 1). Низкая поглотительная способность свойственна некоторым урбостратоземам. Квазизем торфяной с максимально высоким содержанием органического вещества показал крайне высокую ёмкость поглощения. Ёмкость катионного обмена остальных почв варьирует от значений выше средней до высокой.

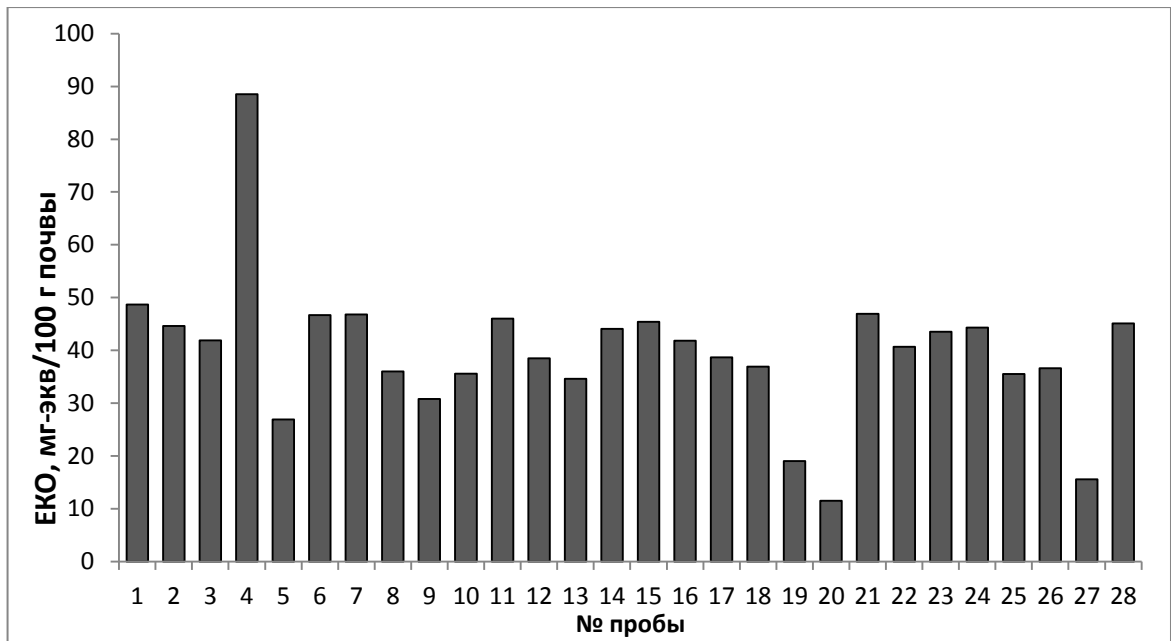


Рис. 58. Ёмкость катионного обмена (ЕКО, мг-экв/100 г) урбостратоземов и квазиземов в УПК на элювиально-делювиальных суглинках (КУ-1)

Урбостратоземы и квазиземы показали среднюю и высокую обеспеченность подвижными фосфатами (рис. 59; приложение 8, табл. 1).

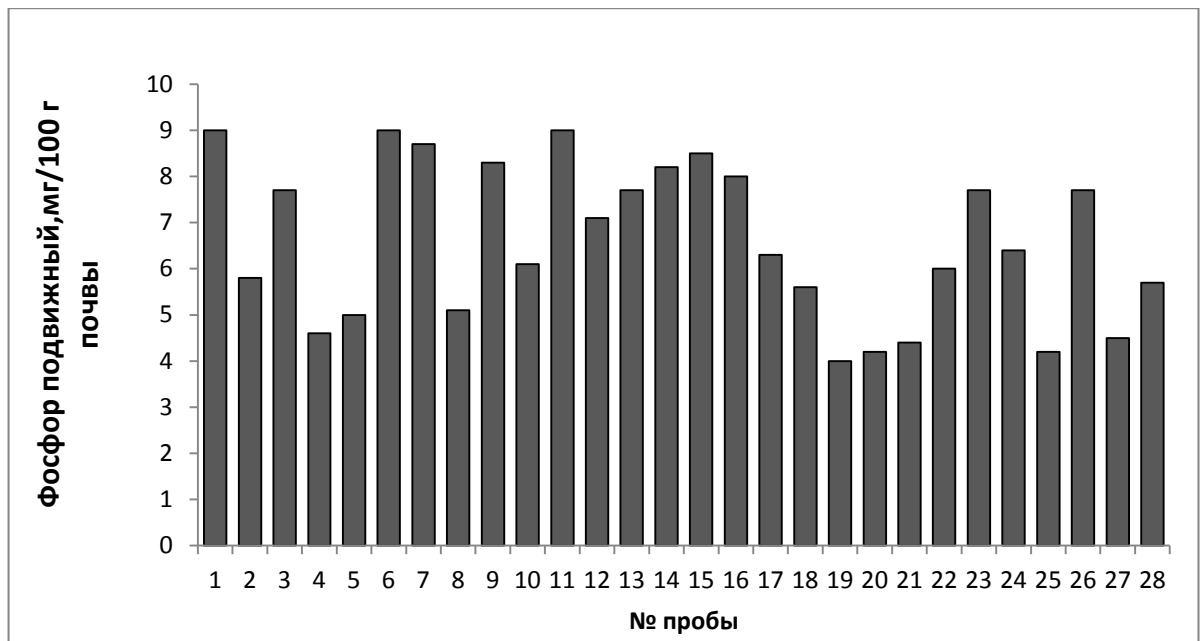


Рис. 59. Содержание подвижных фосфатов (мг/100 г) в урбостратоземах и квазиземах в УПК на элювиально-делювиальных суглинках (КУ-1)

Диапазон варьирования подвижного калия в урбостратоземах и квазиземах достаточно широк – от 9,4 до 51,25 мг/100 г почв, что указывает в целом на высокую обеспеченность этим элементом (рис.60; приложение 8, табл. 1).

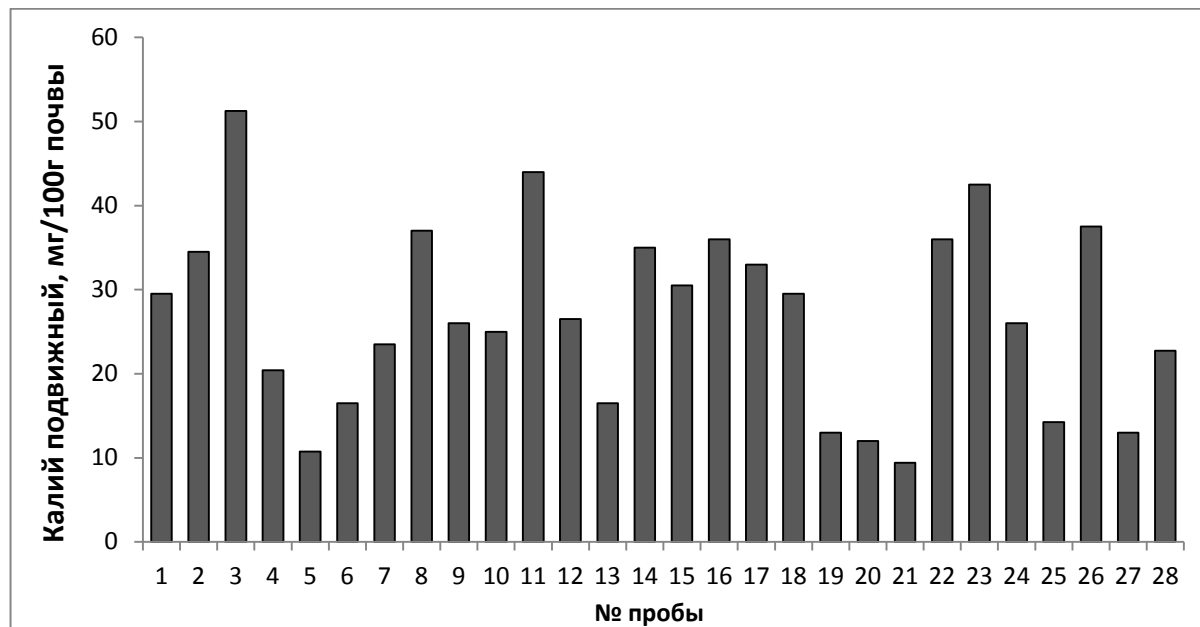


Рис. 60. Содержание подвижного калия (мг/100 г) в урбостратоземах и квазиземах в УПК на элювиально-делювиальных суглинках (КУ-1)

Присутствие карбонатов в мелкоземе обнаружено у 71% проб, практически все они отобраны из урбостратоземов (рис. 61; приложение 8, табл. 1). Эти почвы характеризуются как слабокарбонатные.

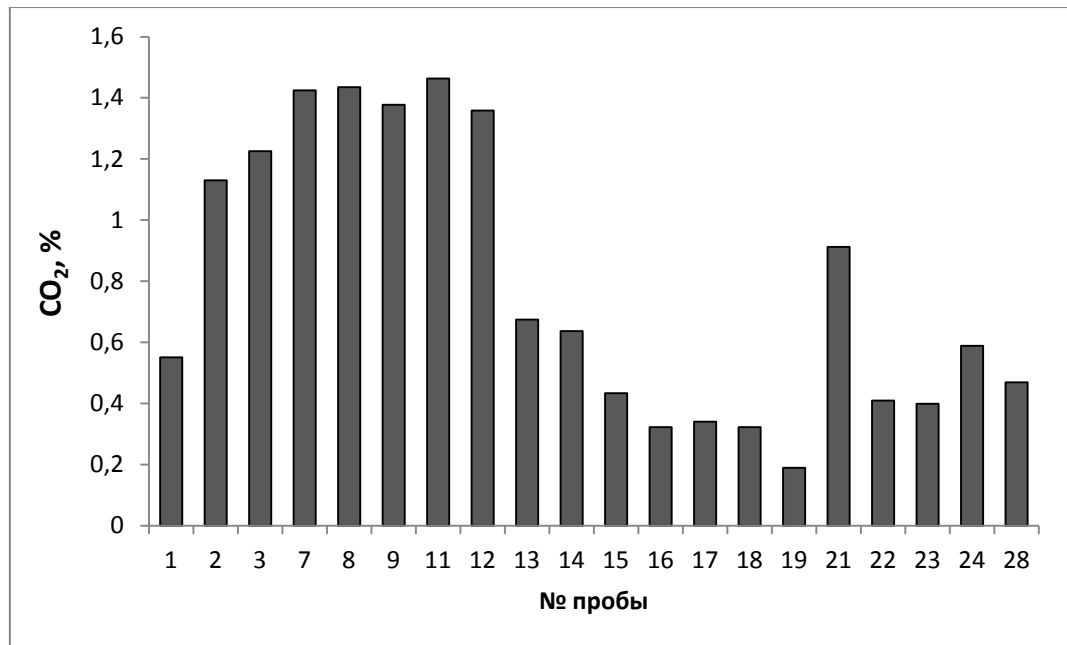


Рис. 61. Содержание карбонатов (CO₂ карбонатов, %) в урбостратоземах УПК на элювиально-делювиальных суглинках (КУ-1)

В поверхностных слоях городских почв и ТПО подвижность кадмия, свинца и меди (рис. 62; приложение 8, табл. 1) не превышала порог ранее установленной токсичности для тест-культуры (см. главу 3).

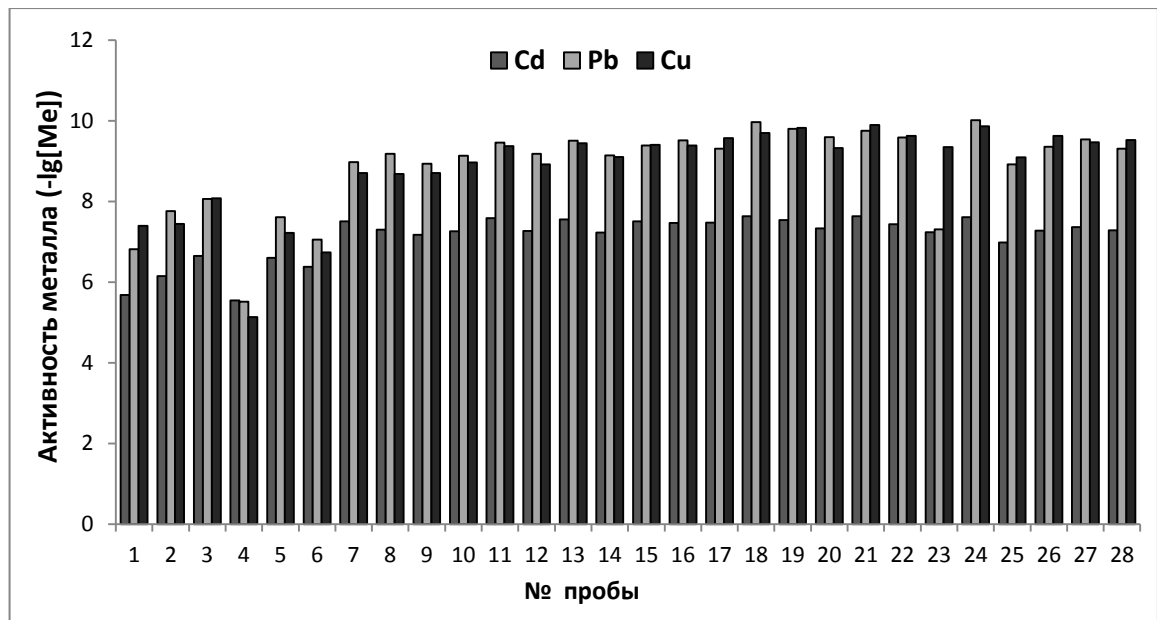


Рис. 62. Подвижность металлов (-lg[Me]) в урбостратоземах и квазиземах в УПК на элювиально-делювиальных суглинках (КУ-1)

Фитотестирование урбостратоземов и квазиземов КУ-1

Согласно патенту (Еремченко, Митракова, 2016), при снижении высоты и массы растений на 10-30 % относительно тест-контроля следует считать экологическое состояние почв и техногенных почвогрунтов удовлетворительным. При снижении показателей тест-культуры на 30-50% характеризовать экологическое состояние почв как неудовлетворительное, а при уровне снижения показателей более 50% считать экологически опасным.

Большинство растений, выращенных на почвенных пробах из УПК на элювиально-делювиальных суглинках, имели небольшое превышение по высоте, либо допустимое понижение (менее 30%) по высоте и массе относительно тест-контроля (рис. 63; приложение 8, табл. 2). Таким образом, почвы характеризуются удовлетворительным экологическим состоянием. Однако на 11-ти процентах почвенных проб высота кресс-салата была понижена на 31-36% и на 33-х процентах проб – масса растений на 31-55%. Таким образом, около третьей части проб, отобранных в пределах ключевого участка, показали неудовлетворительное состояние поверхностных слоев урбостратоземов и квазиземов КУ-1.

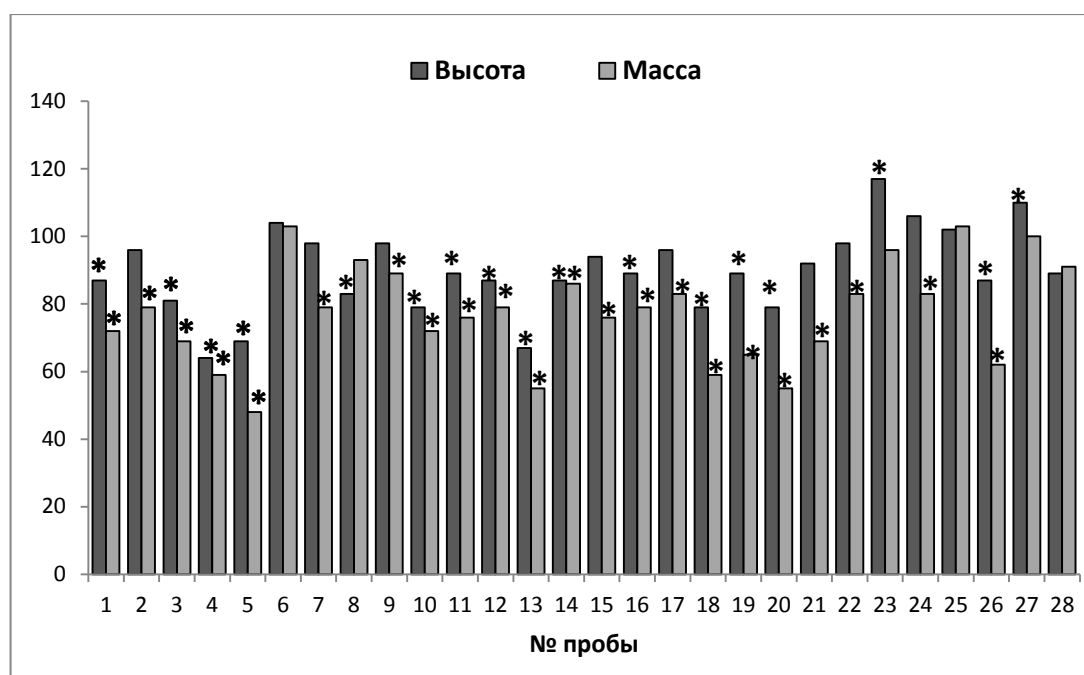


Рис. 63. Высота и масса тест-культуры, выращенной на пробах поверхностных слоев (0-15 см) урбостатоземов и квазиземов в УПК на элювиально-делювиальных суглинках (КУ-1), % от тест-контроля: * - существенные различия

На токсичность почв указывает повышение редокс-активности растительных экстрактов (Еремченко, Митракова, 2017), что отражает активизацию антиоксидантной системы растений. При повышении редокс-активности растительного экстракта на 10-30% относительно контрольного варианта, выращенного на вермикулите, рекомендовано считать почву или почвогрунт умеренно токсичным; при повышении на 30-50% - сильно токсичным; а при уровне повышения показателя более 50% считать экологически опасным.

Редокс-реакция кресс-салата, выращенного на пробах из урбостратоземов и квазиземов КУ-1 варьировала существенно (рис. 64; приложение 8, табл. 2), от тест-контроля этот показатель достоверно отличался лишь в сторону повышения. Редокс-активность растений, выращенных на почти половине проб, достоверно увеличилась в 1,4-1,7 раза, по-видимому, этот рост свидетельствует сильной токсичности корневой

среды. Причиной повышения редокс-активности кресс-салата может быть накопление загрязнителей разного состава (тяжелые металлы, нефтепродукты, соли и др.) в городских почвах.

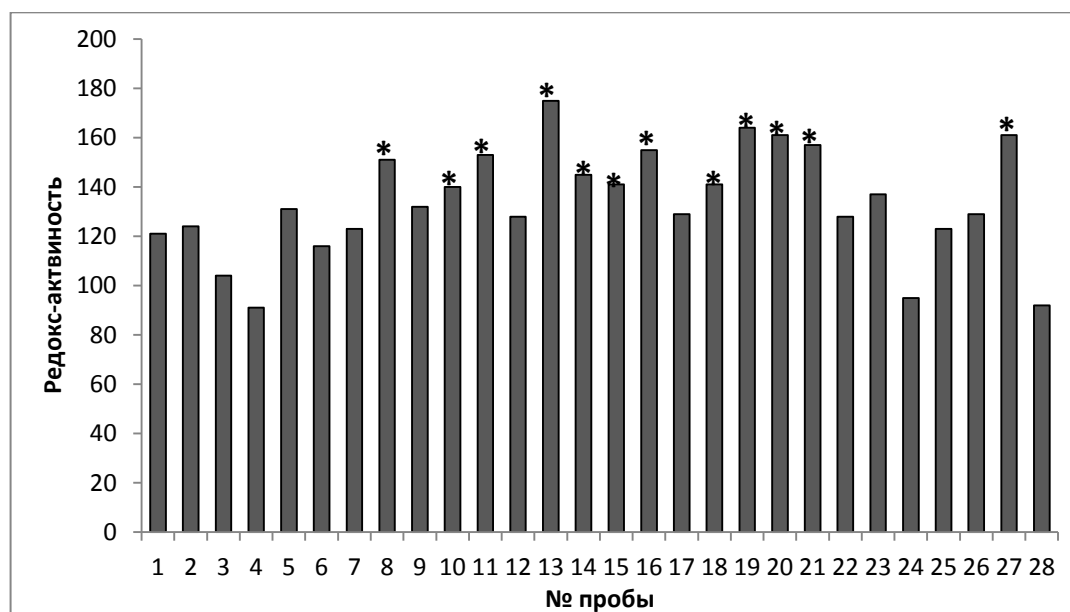


Рис. 64. Редокс-активность кресс-салата, выращенного на пробах поверхностных слоев (0-15 см) урбостратоземов и квазиземов в УПК на элювиально-делювиальных суглинках (КУ-1), % от контроля: * – существенные различия

Прослежена тенденция к повышению редокс-активности при общем угнетении растений (рис. 65), коэффициент корреляции с высотой составил – 0,57, с массой растений – 0,63. По-видимому, адаптивные возможности кресс-салата в условиях токсичности среды реализовались за счет уменьшения общего прироста растений.

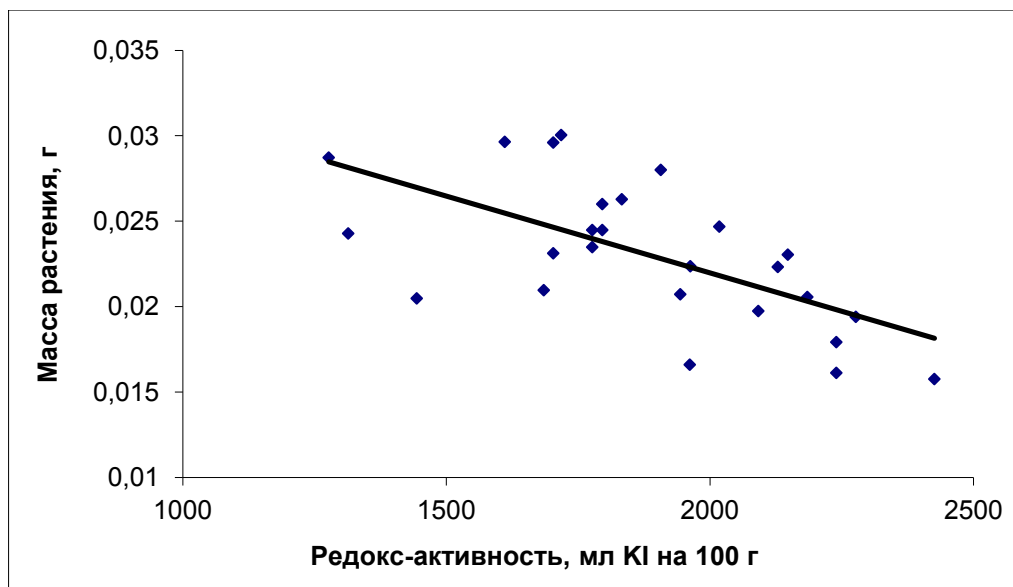


Рис. 65. Зависимость между массой (г) и редокс-активностью растений (мл KJO_3 на 100 г сухой массы), выращенных на пробах поверхностных слоев (0-15 см) урбостратоземов и ТПО (КУ-1):

$$y = 2890 - 43900 \cdot x, R = -0,63, F = 15,6, p = 0$$

Таким образом, экологическое состояние поверхностных горизонтов урбостратоземов и квазипочв КУ-1 в УПК на элювиально-делювиальных суглинках с территории многоэтажной застройки имеет как удовлетворительный, так и неудовлетворительный уровень. О токсичности корневой среды в отдельных участках исследуемой территории также свидетельствует усиленная редокс-реакция тест-культуры.

4.2. Состояние почв и техногенных поверхностных образований в урбопедокомплексе на древнеаллювиальных песках

Свойства урбостратоземов и ТПО

В 15-ти прикопках КУ-2 диагностированы две почвы и три ТПО; преобладали собственно урбостратоземы, т.к. микрорайон относительно поздно застроен и окультуривание почв слабо выражено (рис.66). Почвенные разности унаследовали от почвообразующей породы преимущественно легкий (песчано-супесчаный) гранулометрический состав.

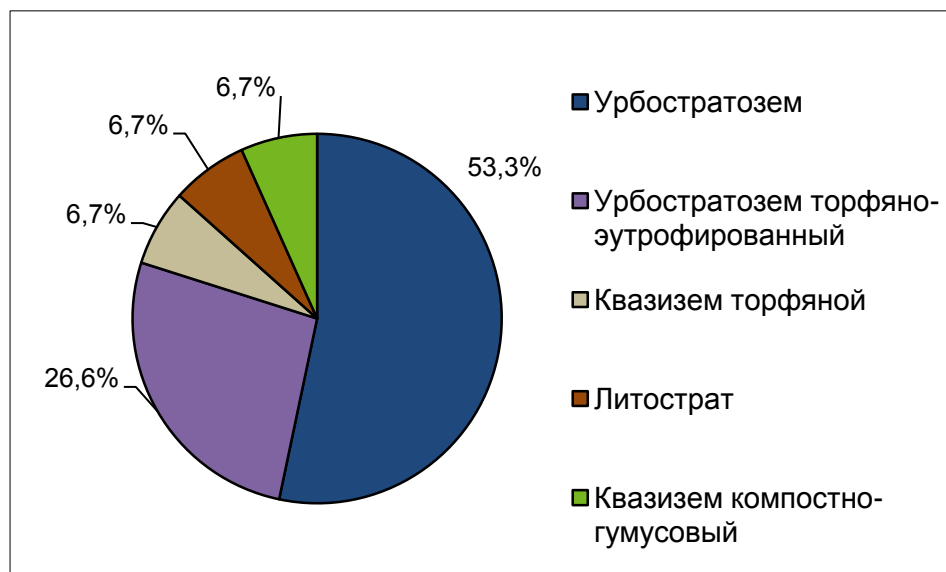


Рис.66. Соотношение урбостратоземов и ТПО КУ-2 в УПК на древнеаллювиальных песках (КУ-2)

Содержания органического углерода в почвах и ТПО варьировало от 0,84 до 16,87% (рис. 67; приложение 8, табл. 3). Урбостратоземы слабо обеспечены органическим веществом, урбостратоземы торфяно-эутрофированные и квазиземы компостно-гумусовые характеризовались средним и высоким содержанием. Очень высокое содержание органического вещества характерно для квазизема торфяного, а наименьшее содержание органического вещества – для литострата.

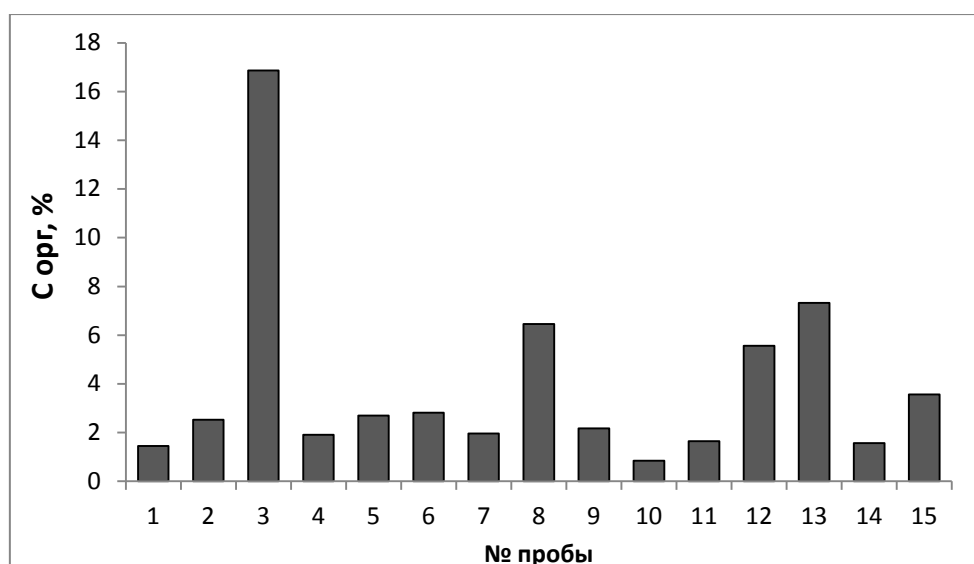


Рис. 67. Содержание органического углерода ($C_{\text{орг}}$, %) в урбостратоземах и ТПО в УПК на песчано-супесчаных породах древнеаллювиального происхождения (КУ-2)

Здесь и далее в этом УПК: 1, 4-7, 9, 11, 14 – урбостратозем; 2, 8, 12, 13 – урбостратозем торфяно-эутрофированный; 3 – квазизем торфяной; 10 – литострат; 15 – квазизем компостно-гумусовый.

Реакция среды в урбостратоземах и ТПО была нейтрально-слабощелочная (рис. 68; приложение 8, табл. 3); показатели $pH_{\text{вод}}$ менялись в пределах 6,74-8,28; показатели $pH_{\text{сол}}$ – 5,93-7,63. Следует отметить, что наибольшую щелочность имел литострат.

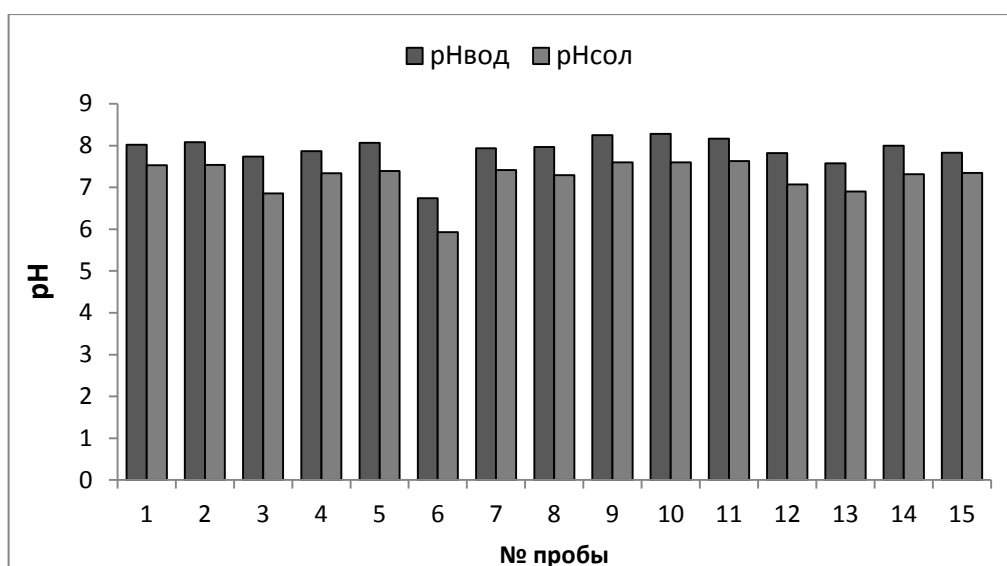


Рис. 68. Величина pH почв и ТПО в УПК на древнеаллювиальных песках (КУ-2)

Урбостратоземы и ТПО данного КУ показали среднюю и низкую ёмкость поглощения (рис. 69; приложение 8, табл. 3), что обусловлено относительно легким гранулометрическим составом; небольшое количество проб из урбостратоземов торфяно-эутрофированных и квазизема торфяного благодаря органическому веществу характеризовались высокой ёмкостью поглощения.

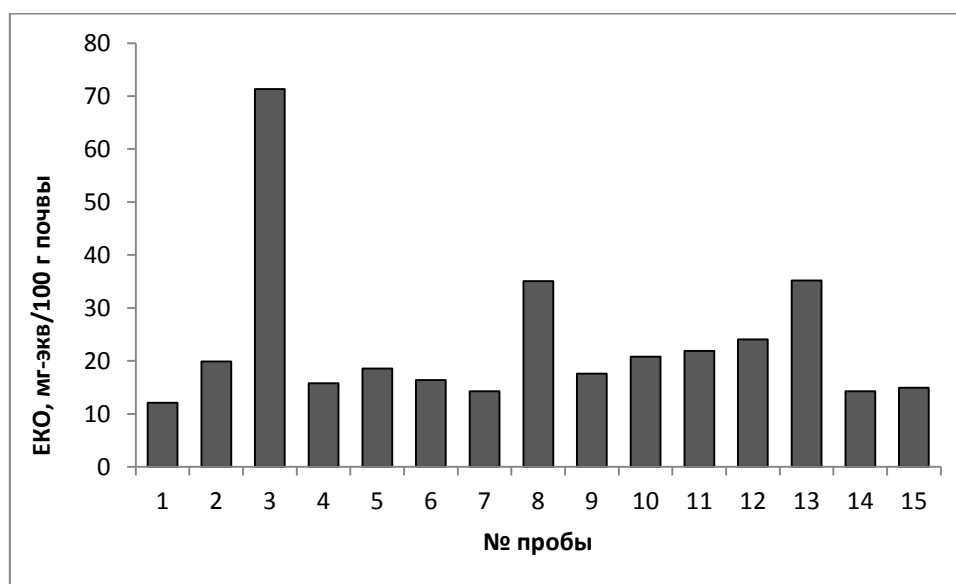


Рис. 69. Ёмкость катионного обмена (ЕКО, мг-экв/100 г) урбостратоземов и ТПО в УПК на древнеаллювиальных песках (КУ-2)

Урбостратоземы и ТПО имели средний и повышенный уровень обеспеченности подвижным фосфором (рис. 70; приложение 8, табл. 3), однако в одной пробе из урбостратозема установлено очень низкое содержание подвижного фосфора.

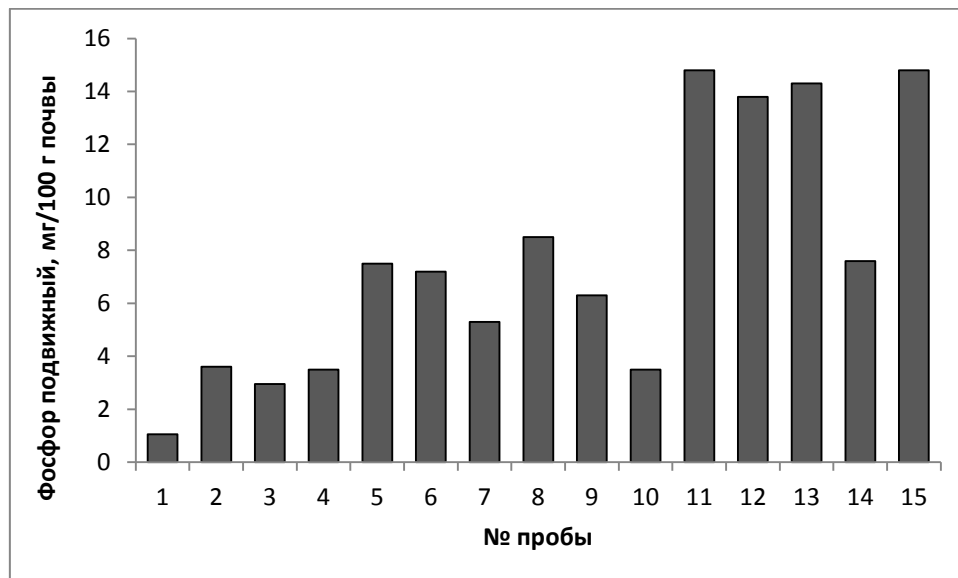


Рис. 70. Содержание подвижных фосфатов (мг/100 г) в урбостратоземах и ТПО в УПК на древнеаллювиальных песках (КУ-2)

Уровень обеспеченности урбостратоземов и ТПО подвижным калием в 40% проб низкий; в остальных пробах содержание калия варьирует от среднего до высокого (рис. 71; приложение 8, табл. 3), в целом обеспеченность калием выше, чем фосфором.

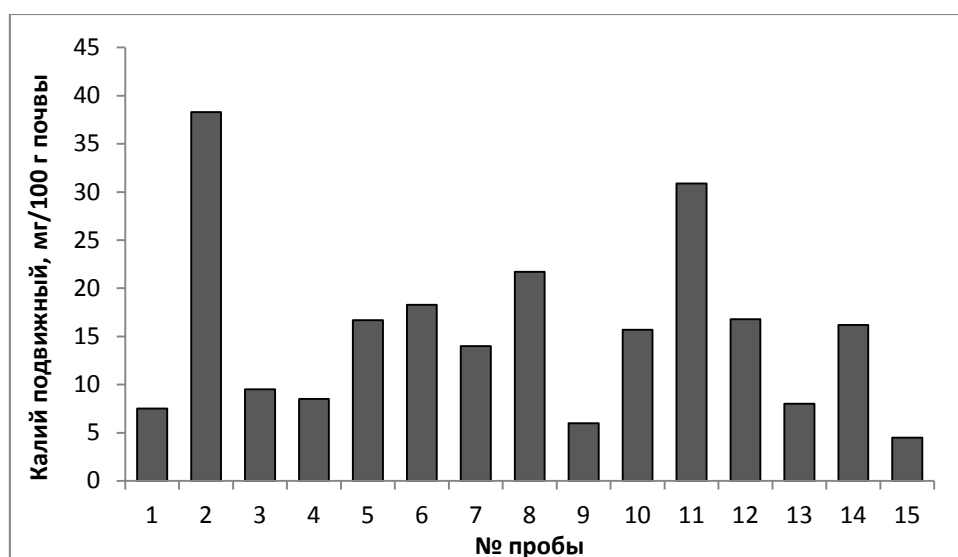


Рис. 71. Содержание подвижного калия (мг/100 г) в урбостратоземах и ТПО в УПК на древнеаллювиальных песках (КУ-2)

Содержание карбонатов в мелкоземе выявлено в 80% проб почв и ТПО, наибольшее содержание карбонатов (2,12%) отмечено в квазиземе компостно-гумусовом из-за обилия карбонатных включений (рис. 72; приложение 8, табл. 3).

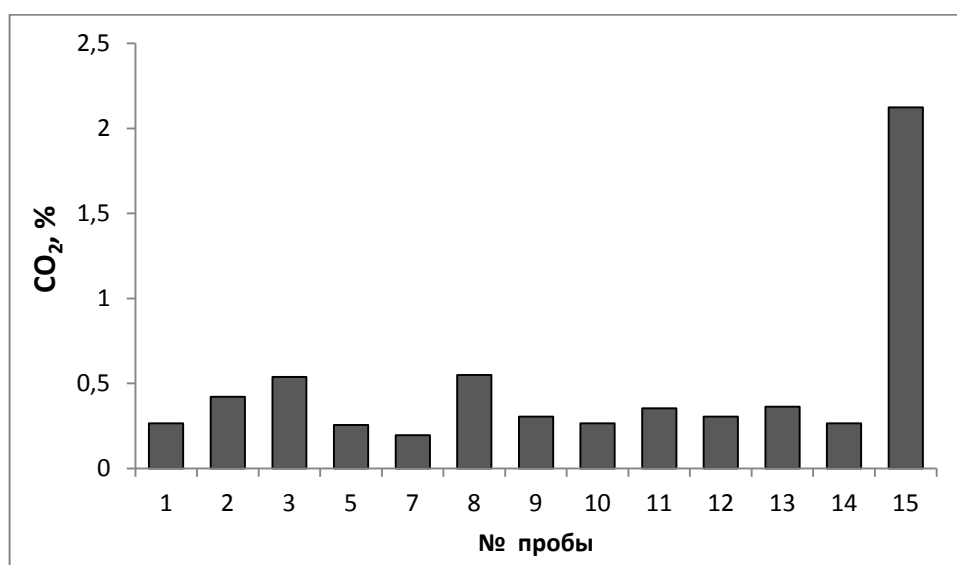


Рис. 72. Содержание карбонатов (CO₂ карбонатов, %) в урбостратоземах и ТПО в УПК на древнеаллювиальных песках (КУ-2)

В поверхностных горизонтах (слоях) урбостратоземов и ТПО подвижность кадмия и свинца не превышала порог ранее установленной

токсичности по реакции тест-культуры, наибольшая подвижность выявлена у кадмия (рис. 73; приложение 8, табл. 3).

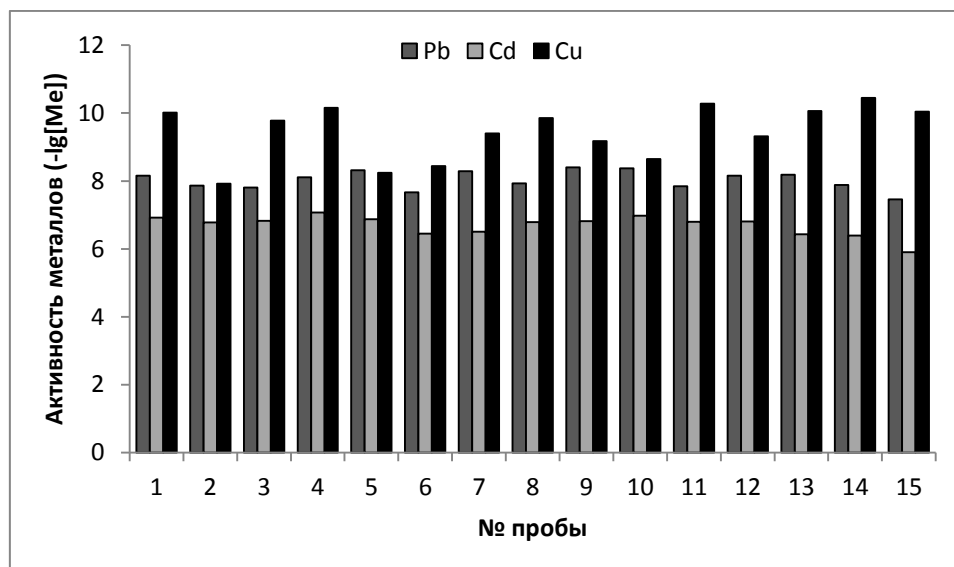


Рис. 73. Подвижность металлов ($-\lg[\text{Me}]$) в урбостратоземах и ТПО в УПК на древнеаллювиальных песках (КУ-2)

Каталазная активность в почвах и ТПО данного ключевого участка варьировала в пределах от 0,9 до 2,8 $\text{O}_2 \text{ см}^3/\text{г}$ за 1 мин (рис. 74). По критериям Д.Г. Звягинцева степень обогащенности была низкой, не достигала среднего уровня. Наибольшая активность фермента отмечена в пробах урбостратоземов торфяно-эутрофированных – 2,8 и 2,6 $\text{O}_2 \text{ см}^3/\text{г}$ на 1 мин. Корреляционный анализ показал среднюю положительную связь активности каталазы с содержанием органического углерода ($R=0,56$), а также среднюю отрицательную связь с $\text{pH}_{\text{сол}}$ ($R= -0,53$).

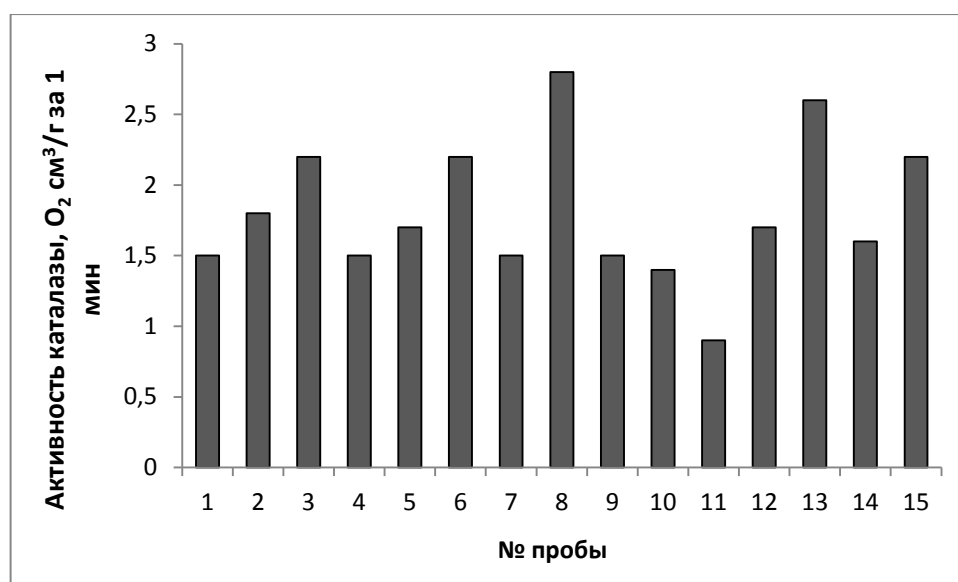


Рис. 74. Активность каталазы (O_2 см³/г за 1 мин) в урбостратоземах и ТПО в УПК на древнеаллювиальных песках (КУ-2)

Фитотестирование урбостратоземов и ТПО КУ-2. На 87% почвенных проб из УПК на древнеаллювиальных песках растения имели пониженную высоту и массу (рис. 75; приложение 8, табл. 4). Однако снижение показателей не превысило, как правило, 30% по сравнению с тест-контролем, что свидетельствует об удовлетворительном состоянии поверхностных слоев почв и ТПО.

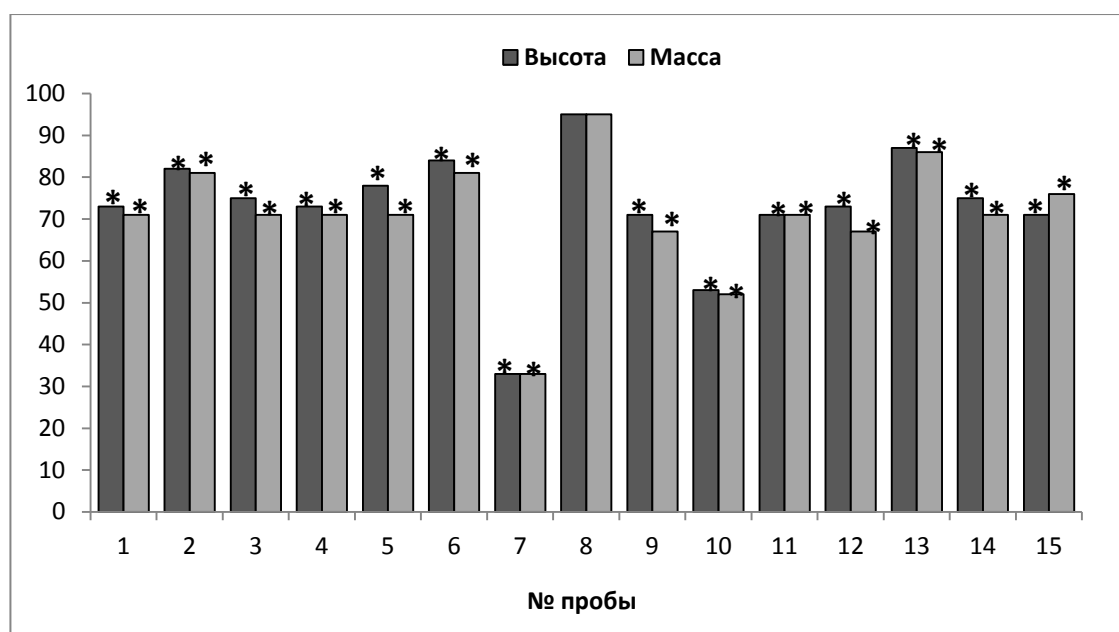


Рис. 75. Высота и масса тест-культуры, выращенной на урбостратоземах и ТПО в УПК на древнеаллювиальных песках (КУ-2), % от контроля: * - существенные различия

Редокс-активность кресс-салата, выращенного на пробах урбостратоземов и квазиземов, отличалась от тест-контроля лишь в сторону уменьшения показателя (рис. 76; приложение 8, табл. 4). Вероятно, отсутствие реакции на токсичность корневой среды свидетельствует о небольшой аккумуляции загрязняющих веществ. Микрорайон относительно недавно застроен, кроме того, почвы легкого гранулометрического состава слабо накапливают поллютанты.

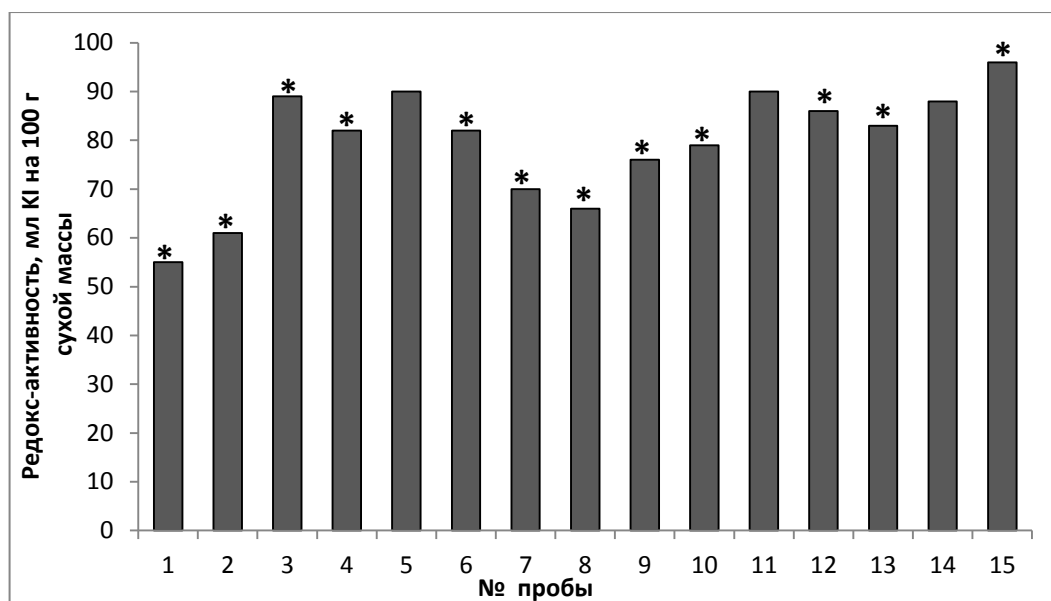


Рис.76. Редокс-активность кресс-салата, выращенного на пробах поверхностных слоев (0-15 см) урбостратоземов и ТПО в УПК на древнеаллювиальных песках (КУ-2), % от контроля: * – существенные различия

4.3. Состояние почв и техногенных поверхностных образований в урбопедокомплексе на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями

Свойства урбостратоземов и ТПО

КУ-3 расположен на границе перехода многоэтажной застройки в частную малоэтажную застройку, в пределах УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями. Микрорайон слабо окультурен; в 15-ти прикопках КУ-3 были выявлены собственно урбостратоземы и три ТПО, преобладали урбостратоземы (рис. 77).

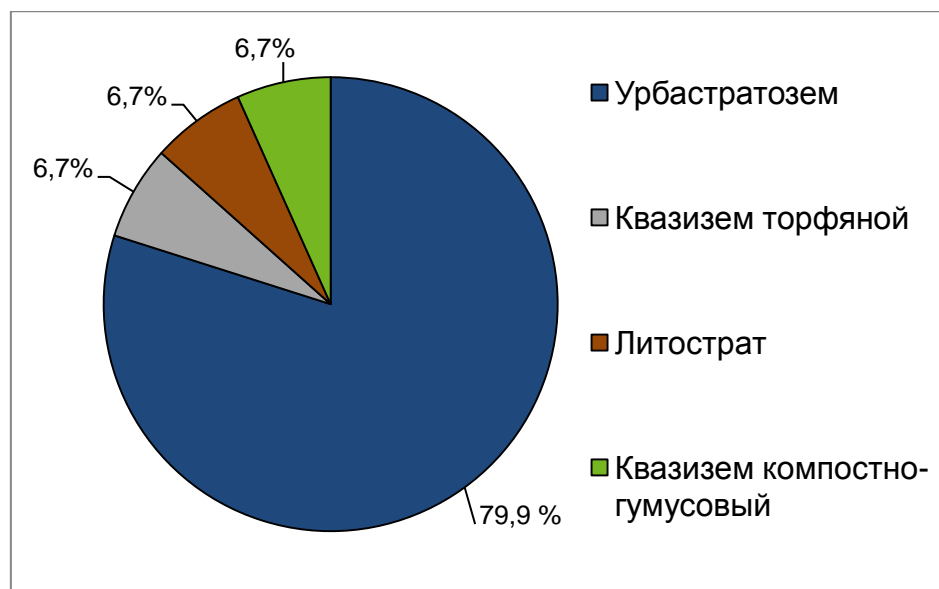


Рис. 77. Соотношение урбостратоземов и ТПО в УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями (КУ-3)

Содержание органического углерода в урбостратоземах и ТПО колебалось в интервале от 1,23% до 25,15% (рис. 78; приложение 8, табл. 5). Урбостратоземы и литострат характеризовались средним содержанием органического вещества, тогда как квазиземы за счет внесения торфа – очень высоким.

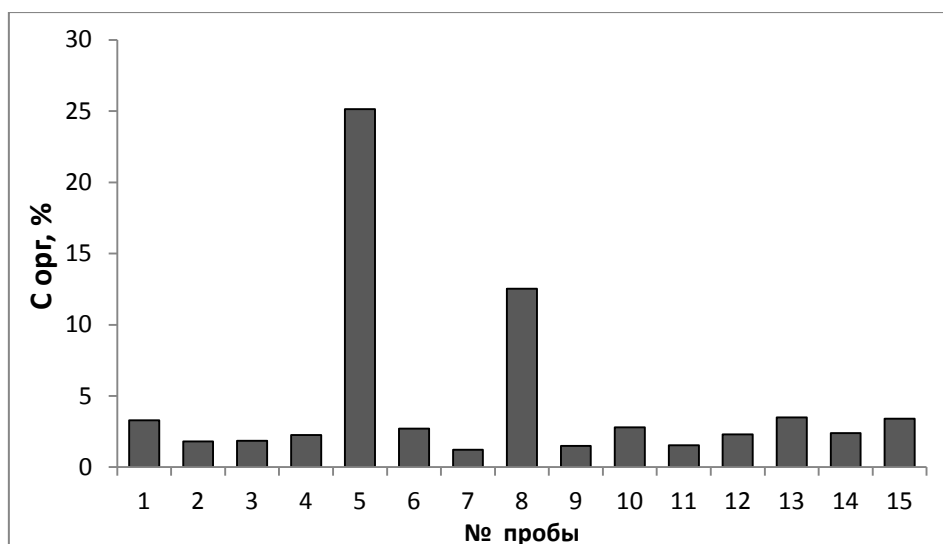


Рис. 78. Содержание органического углерода ($C_{\text{орг}}$, %) в урбостратоземах и ТПО в УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями (КУ-3)

Здесь и далее в этом УПК: 1-4, 7, 9-15 – урбостратозем; 5 – квазизем торфяной; 6 – литострат.

Величина pH указывает на нейтрально-слабощелочной характер почв и ТПО данного ключевого участка (рис. 79; приложение 8, табл. 5). Однако следует отметить, что квазизем торфяной имел слабокислую реакцию, а наиболее щелочным был литострат. В целом диапазон колебаний значений $pH_{\text{вод}}$ варьировал от 5,94 до 8,18; $pH_{\text{сол}}$ – от 4,67 до 7,6.

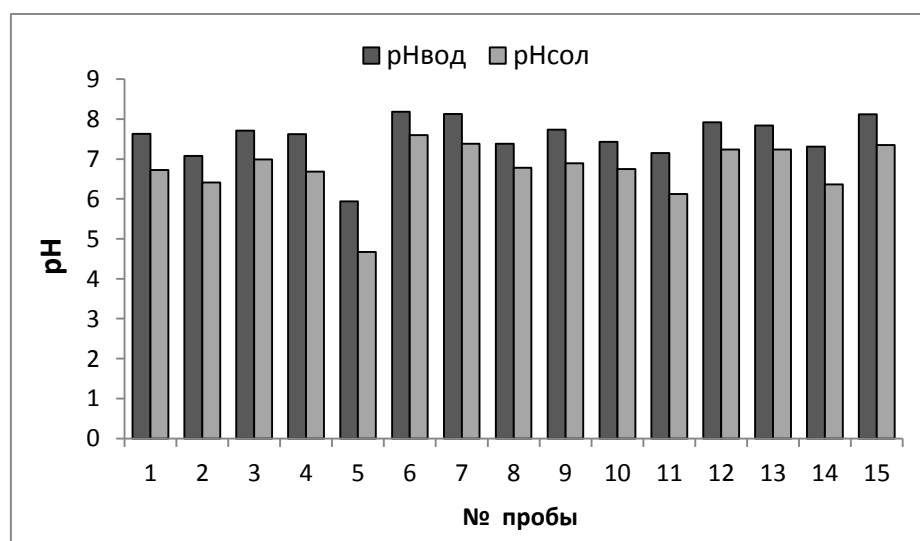


Рис. 79. Величина pH урбостратоземов и ТПО в УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями (КУ-3)

Колебания поглотительной способности почв и техногенных поверхностных образований составили от 13,4 до 80,6 мг-экв/100 г почвы (рис. 80; приложение 8, табл. 5). Урбостратоземы и литостат характеризовались низкой и средней ЕКО, очень высокий уровень отмечен у квазиземов, особенно у квазизема торфяного (80,6 мг-экв/100 г почвы).

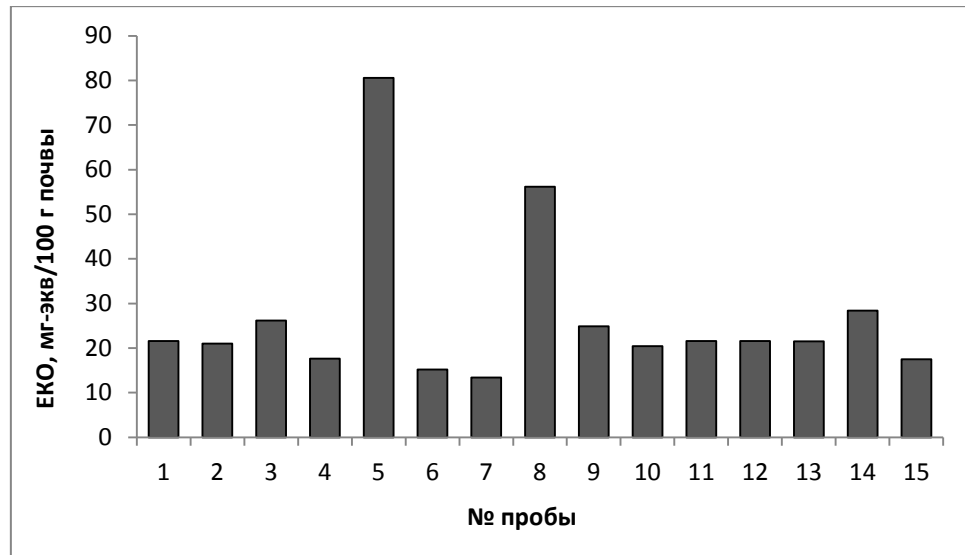


Рис. 80. Ёмкость катионного обмена (ЕКО, мг-экв/100 г) урбостратоземов и ТПО в УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями (КУ-3)

Отмечена низкая и средняя обеспеченность почв и ТПО подвижными фосфатами, их содержание варьировало от 0,35 до 13,8 мг/100 г почвы (рис. 81; приложение 8, табл. 5).

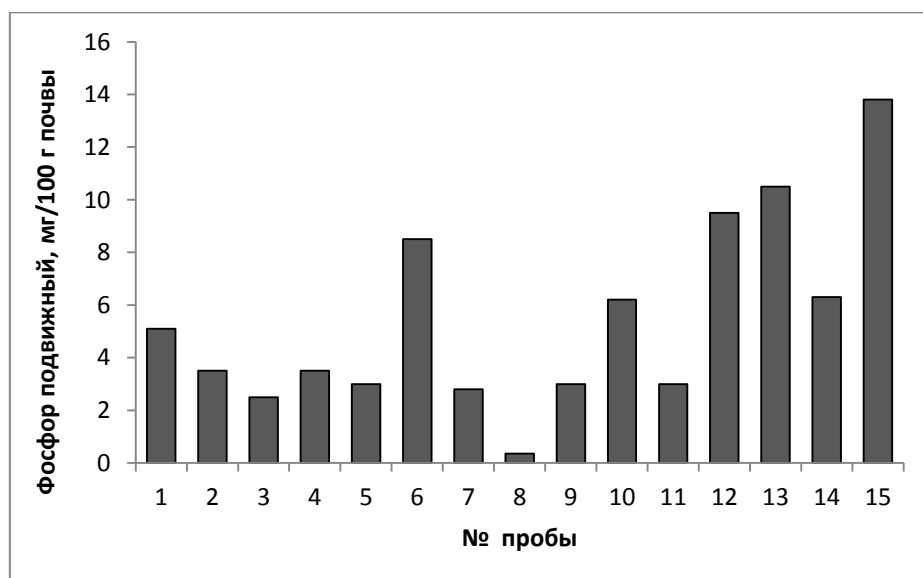


Рис. 81. Содержание подвижных фосфатов (мг/100 г) в почвах и ТПО в УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями (КУ-3)

Уровень содержания подвижного калия в почвах и ТПО колебался от 10,5 до 44,3 мг/100 г почвы, что указывает на средний и высокий уровень содержания (рис. 82; приложение 8, табл. 5).

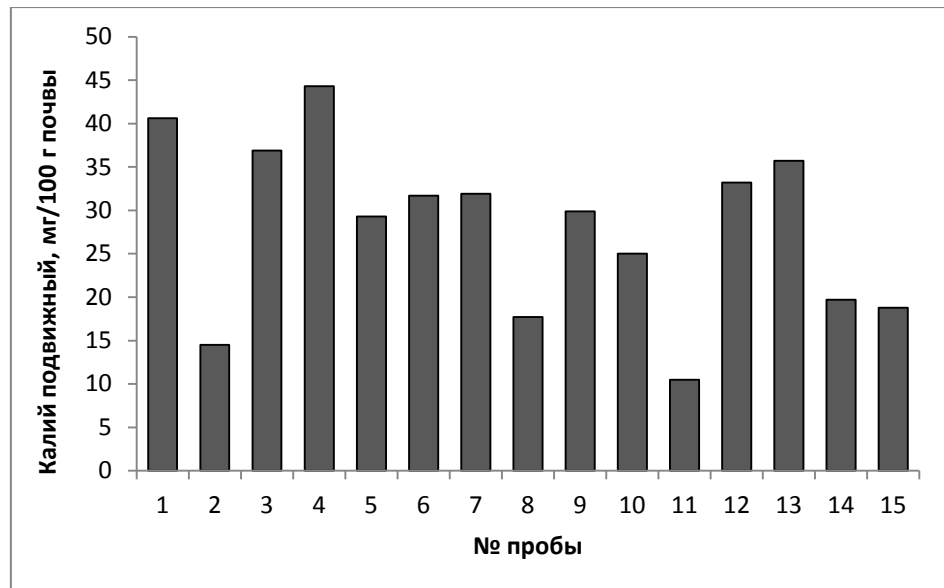


Рис. 82. Содержание подвижного калия (мг/100 г) в урбостратоземах и ТПО в УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями (КУ-3)

Карбонаты в мелкоземе обнаружены в 67% проб (рис. 83; приложение 8, табл. 5), однако их содержание мало, что характеризует слабокарбонатность почв и ТПО.

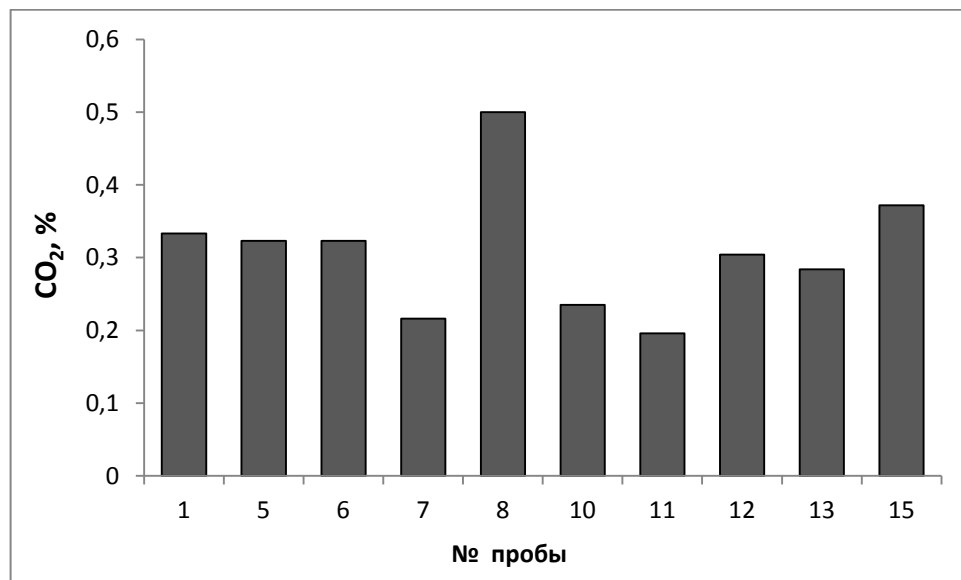


Рис. 83. Содержание карбонатов (CO₂ карбонатов, %) в урбостратоземах и ТПО в УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями (КУ-3)

Подвижность тяжелых металлов в поверхностных слоях исследованных почв и ТПО в основном не превышала порог ранее установленной токсичности для тест-культуры, однако, у кадмия в отдельных пробах уровень активности был наиболее близок к токсичному (рис. 84; приложение 8, табл. 5).

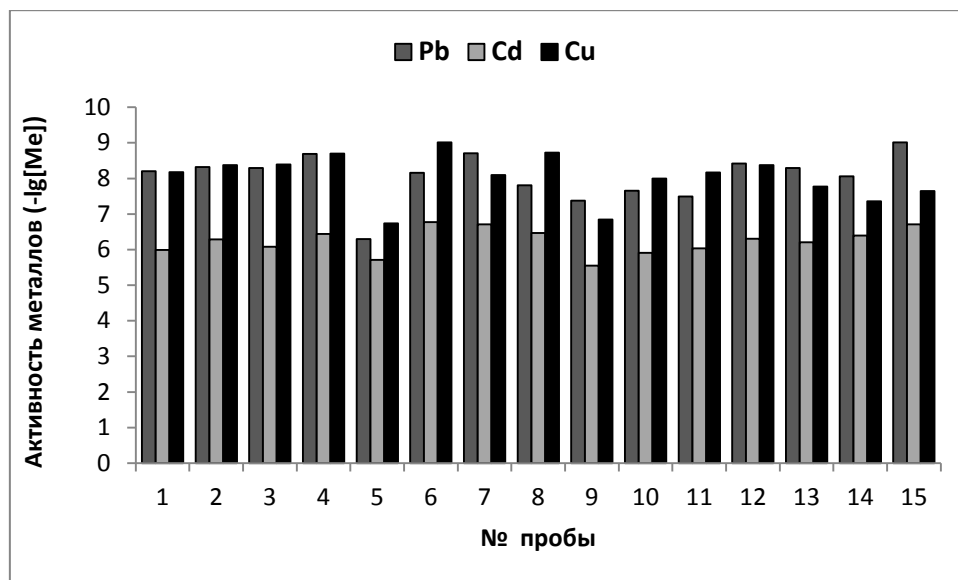


Рис. 84. Подвижность металлов ($-\lg[\text{Me}]$) в почвах и ТПО УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями (КУ-3)

Активность каталазы в почвах и ТПО УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями варьировала с 1,5 до 2,7 $\text{O}_2 \text{ см}^3/\text{г}$ на 1 мин, что указывает на бедность почв этим ферментом (рис. 85).

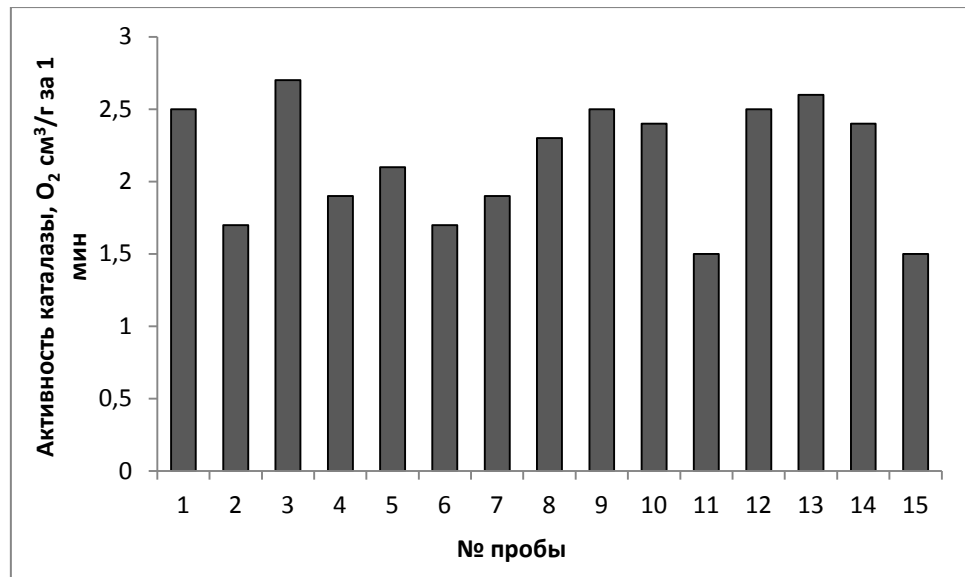


Рис. 85. Активность каталазы ($O_2 \text{ см}^3/\text{г}$ за 1 мин) в почвах и ТПО УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями (КУ-3)

Фитотестирование урбостратоземов и ТПО КУ-3

Урбостратоземы, квазиземы и литострат УПК на маломощных суглинках, подстилаемых песками и супесями, по результатам фитотестирования показали в целом удовлетворительное экологическое состояние (рис. 86; приложение 8, табл. 6); на 60 % проб высота и на 40 % проб масса растений были даже выше, чем на тест-контроле.

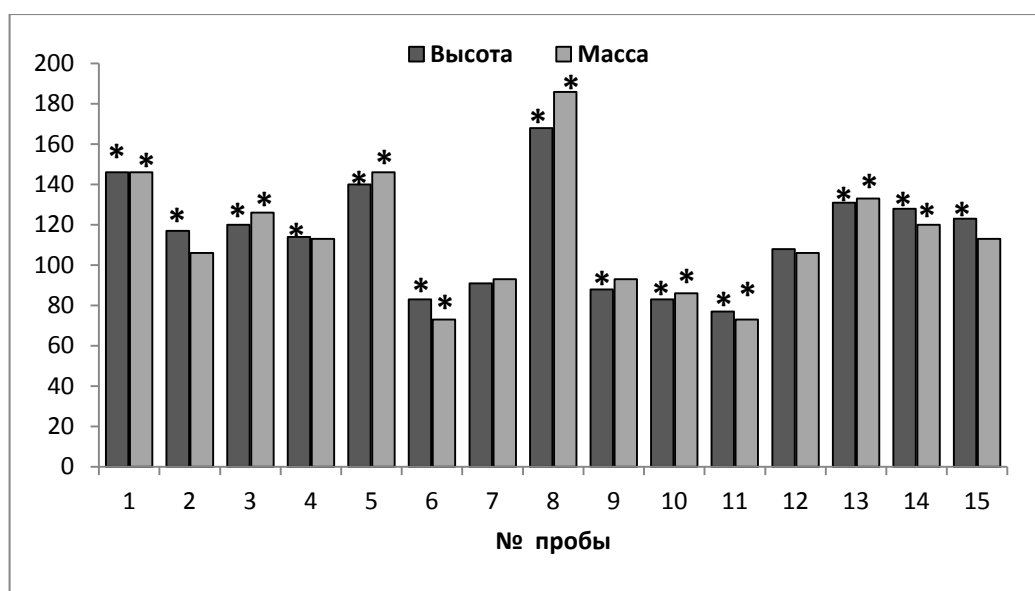


Рис. 86. Высота и масса тест-культуры, выращенной на почвах и ТПО в УПК на маломощных суглинках, подстилаемых песками и супесями (КУ-3), % от контроля: * - существенные различия

Редокс-активность кресс-салата, выращенного на пробах урбостратоземов и ТПО, отличалась от тест-контроля лишь в сторону уменьшения показателя (рис. 87; приложение 8, табл. 6). Отсутствие биохимической реакции растений на токсичность почв и ТПО свидетельствует, вероятно, о пониженной аккумуляции загрязняющих веществ в относительно молодом микрорайоне города. Возможно, это связано с близостью частного сектора с одноэтажной застройкой и парково-лесного массива.

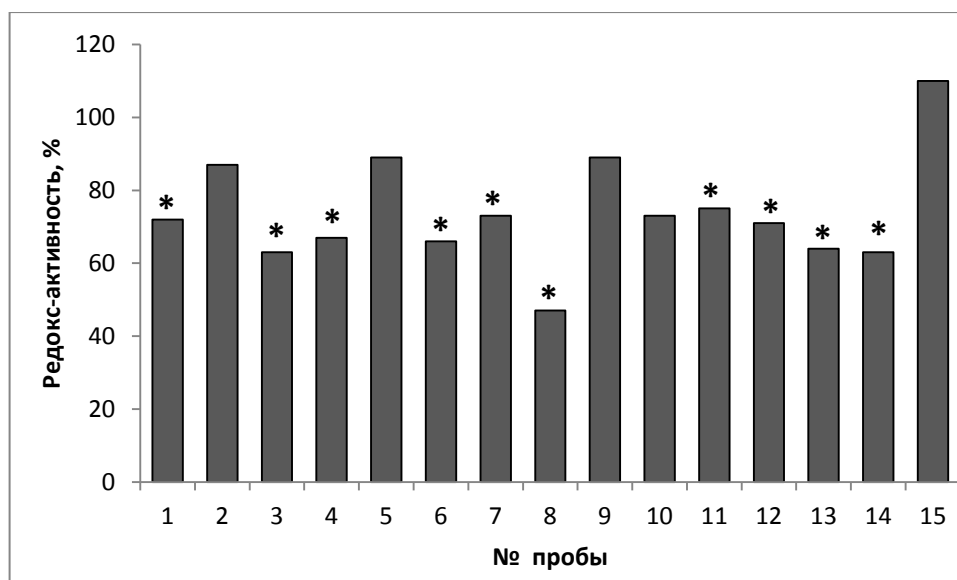


Рис. 87. Редокс-активность кресс-салата, выращенного на пробах поверхностных слоев (0-15 см) урбостратоземов и ТПО в УПК на маломощных суглинках, подстилаемых песками и супесями (КУ-3), % от контроля: * - существенные различия

4.4. Состояние почв и техногенных поверхностных образований в урбопедокомплексе на аллювиальных породах

Свойства урбостратоземов

При исследовании почвенного покрова КУ-4 было диагностировано два типа урбостратоземов. Окультуривание в этом почти нежилом микрорайоне не развито, поэтому преобладали собственно урбостратоземы (рис. 88).

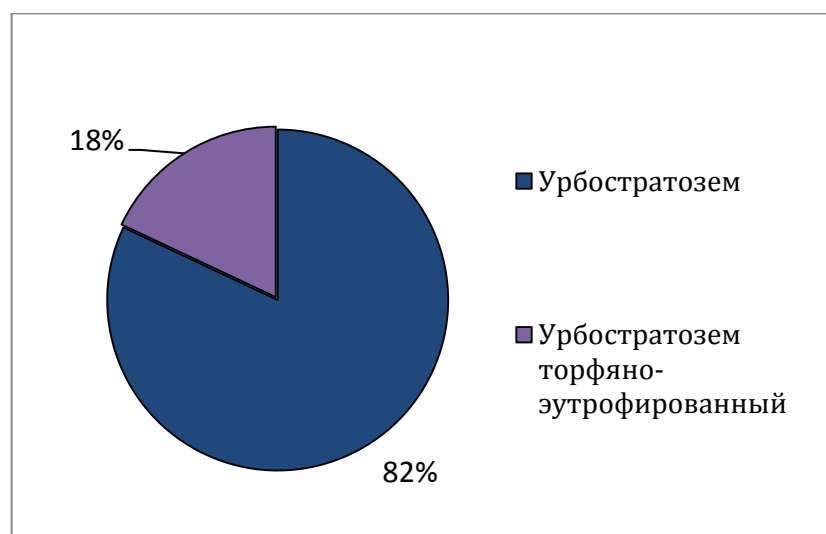


Рис.88. Соотношение урбостратоземов в УПК на аллювиальных породах (КУ-4)

Содержание органического углерода в урбостратоземах варьировало от 0,72 до 11,3% (рис. 89; приложение 8, табл. 7), что указывает на низкий и высокий уровень обеспеченности органическим веществом. Максимальное количество углерода характерно для урбостратозема торфяно-эутрофированного.

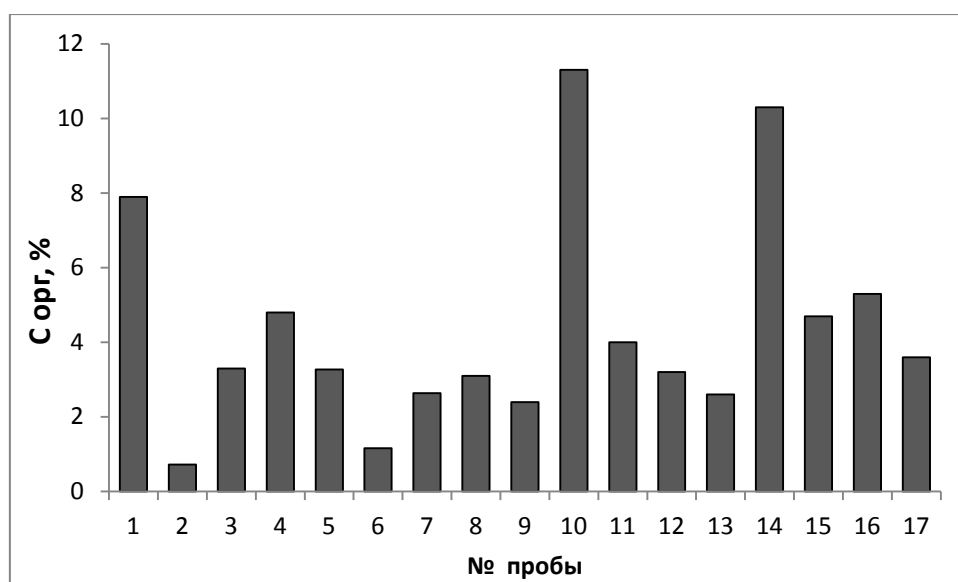


Рис.89. Содержание органического углерода ($C_{\text{орг}}$, %) в урбостратоземах в УПК на аллювиальных породах (КУ-4)

Здесь и далее в этом УПК: 2-9, 11-13, 15-17 – урбостратозем; 1, 10, 14 – урбостратозем торфяно-эутрофированный

Более 85% почвенных проб показали слабощелочную среду, о чем свидетельствуют величины рН (рис. 90; приложение 8, табл. 7), также выявлены почвы с нейтральной реакцией среды.

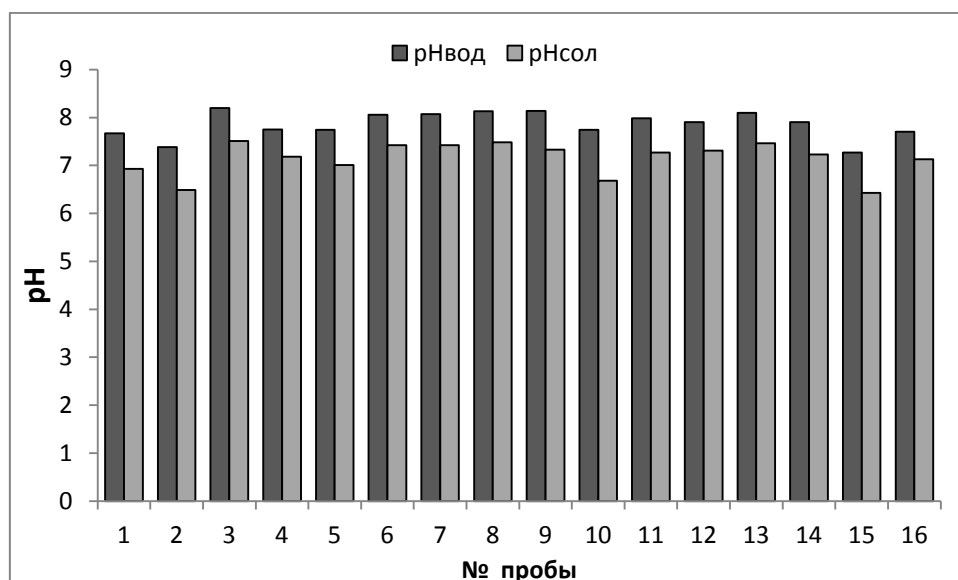


Рис.90. Величина рН урбостратоземов в УПК на аллювиальных суглинках (КУ-4)

Колебания ёмкости поглощения урбостратоземов составили от 10,2 до 50,3 мг-экв/100 г почвы (рис. 91; приложение 8, табл. 7). При этом 60% проб показали среднюю поглотительную способность. Минимальное значение ЕКО указывало на низкую обеспеченность катионами, и было характерно для песчаной почвы. Максимальная величина ЕКО свидетельствует о высокой поглотительной способности урбостратозема торфяно-эутрофированного.

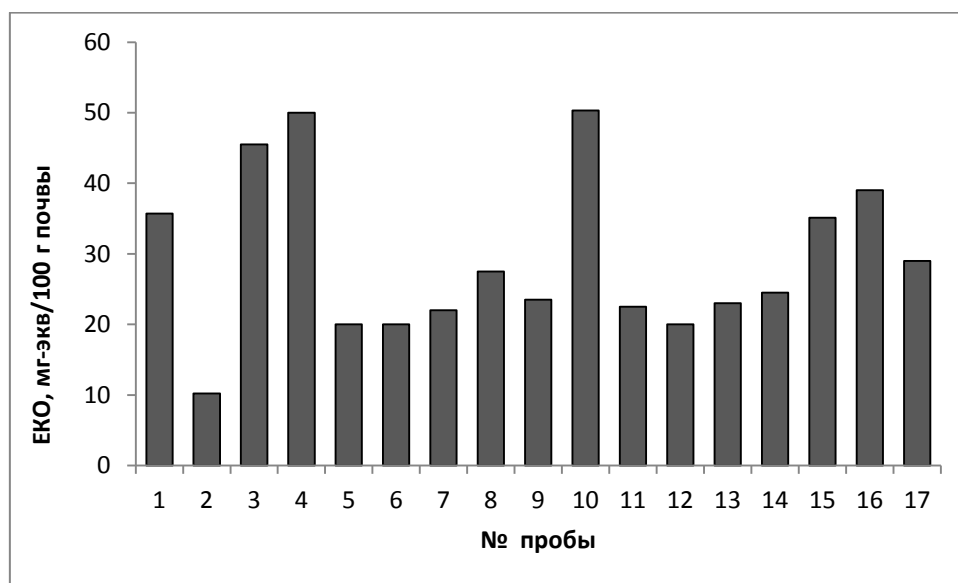


Рис.91. Ёмкость катионного обмена (ЕКО, мг-экв/100 г) урбостратоземов в УПК на аллювиальных породах (КУ-4)

Урбостратоземы были в средней степени обеспечены подвижными фосфатами и высокообеспечены подвижным калием (рис. 92; приложение 8, табл. 7). Содержание подвижного фосфора варьирует от 0,05 до 13,7 мг/100 г почвы; следует отметить, что 35% почвенных проб имели низкий уровень содержания фосфора.

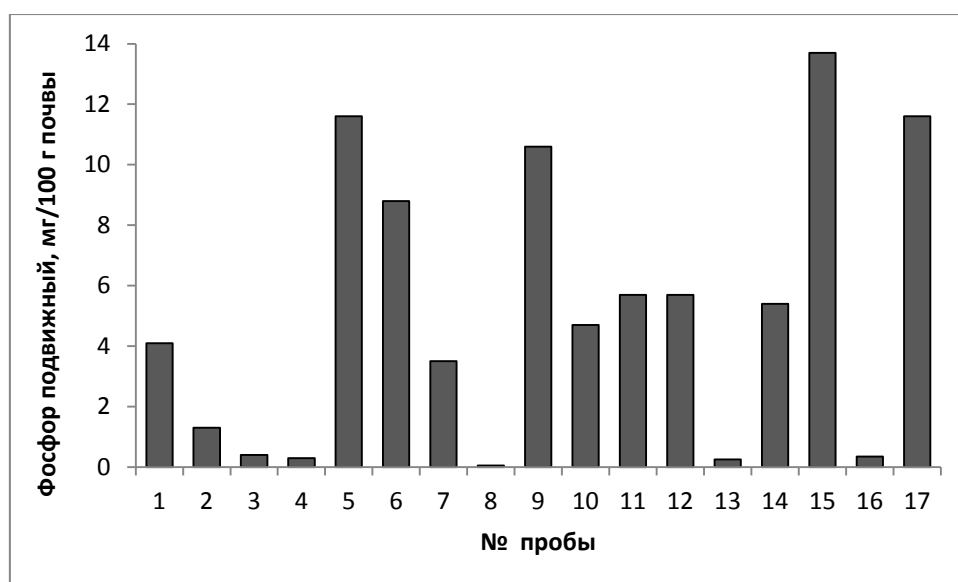


Рис. 92. Содержание подвижных фосфатов (мг/100 г) в урбостратоземах УПК на аллювиальных породах (КУ-4)

У подвижного калия диапазон колебаний в верхних слоях урбостратоземов составил от 4 до 42 мг/100 г почвы (рис. 93; приложение 8, табл. 7), что свидетельствует как о низком, так и повышенном уровне содержания этого питательного элемента.

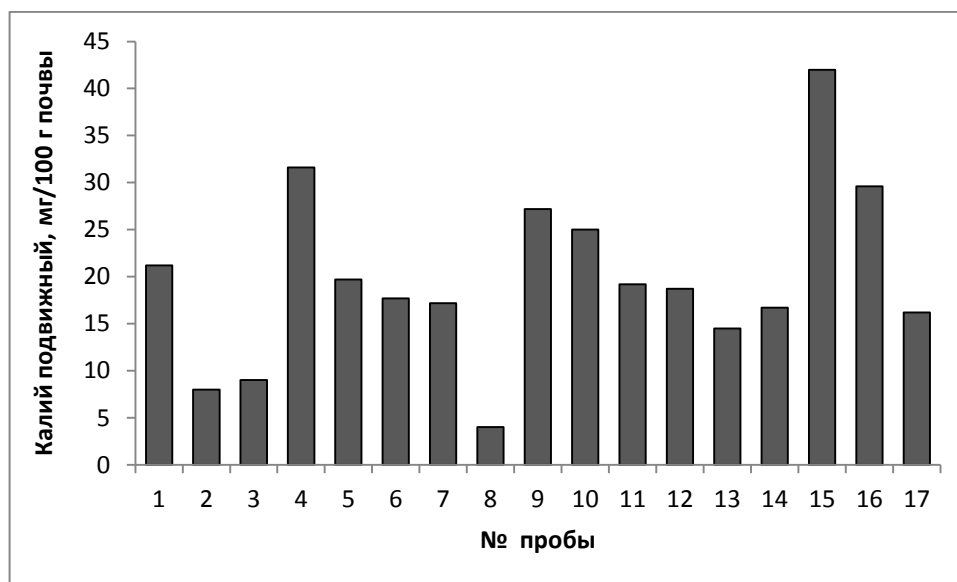


Рис. 93. Содержание подвижного калия (мг/100 г) в урбостратоземах УПК на аллювиальных породах

Карбонаты в мелкоземе обнаружены в 76% почвенных проб, их содержание не превышало 1% (рис. 94; приложение 8, табл. 7), что указывает на слабокарбонатность урбостратоземов.

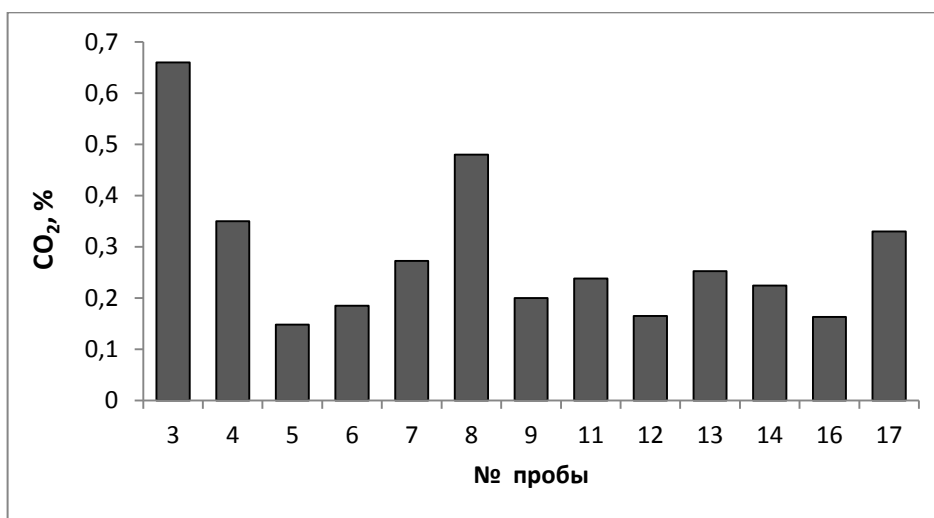


Рис. 94. Содержание карбонатов (CO₂ карбонатов, %) в урбостратоземах УПК на аллювиальных породах (КУ-4)

Подвижность тяжелых металлов в поверхностных слоях исследованных почв в целом не превышала порог ранее установленной токсичности, в тоже время подвижность кадмия наиболее приблизилась к токсичному уровню (рис. 95; приложение 8, табл. 7).

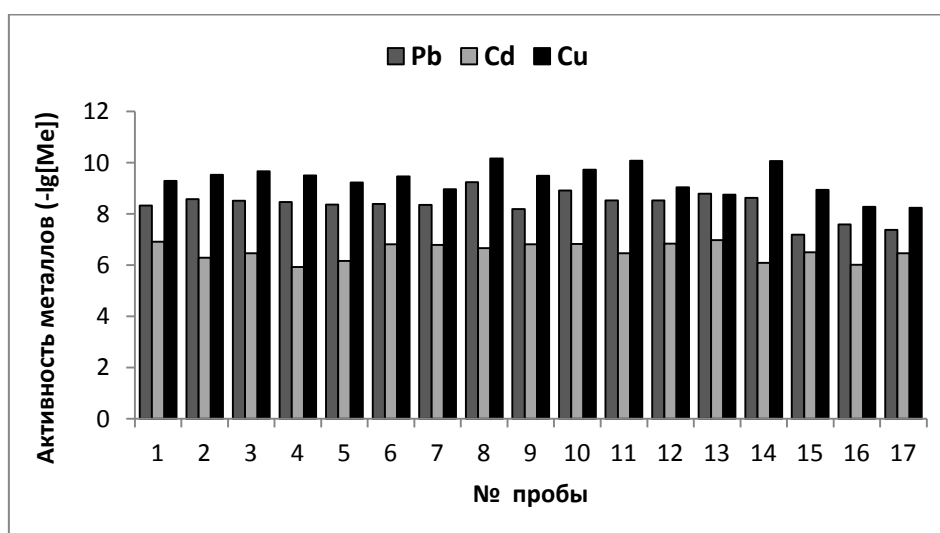


Рис. 95. Подвижность металлов (-lg[Me]) в урбостратоземах УПК на аллювиальных породах (КУ-4)

Каталазная активность в почвах данного ключевого участка варьировала с 0,9 до 3,1 $\text{O}_2 \text{ см}^3/\text{г}$ на 1 мин, что свидетельствует как о бедности почвы этим ферментом, так и о среднем уровне обогащенности почвы каталазой в некоторых почвах (рис. 96). Наибольшая активность фермента характерна для урбостратоземов торфяно-эутрофированных. Корреляционный анализ выявил среднюю положительную связь активности каталазы с содержанием подвижного калия ($R=0,56$), среднюю отрицательную связь с актуальной кислотностью ($R= -0,62$).

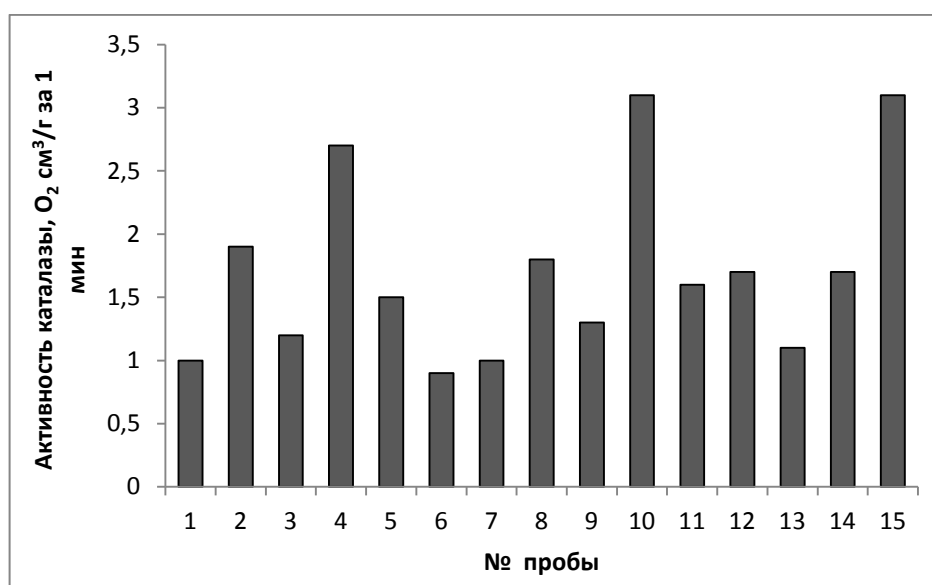


Рис. 96. Активность каталазы ($\text{O}_2 \text{ см}^3/\text{г}$ за 1 мин) в урбостратоземах УПК на аллювиальных породах (КУ-4)

Фитотестирование урбостратоземов КУ-4

На 46 % почвенных проб, отобранных в УПК на аллювиальных породах, кресс-салат показал небольшие отклонения по высоте, некоторые растения были выше тест-контроля (рис. 98; приложение 8, табл. 8). Пониженная масса растений отмечена на 59% почвенных проб, как правило, уменьшение в пределах 15-30% относительно контрольной массы; но у одной почвы фитотестирование показало неудовлетворительное экологическое состояние.

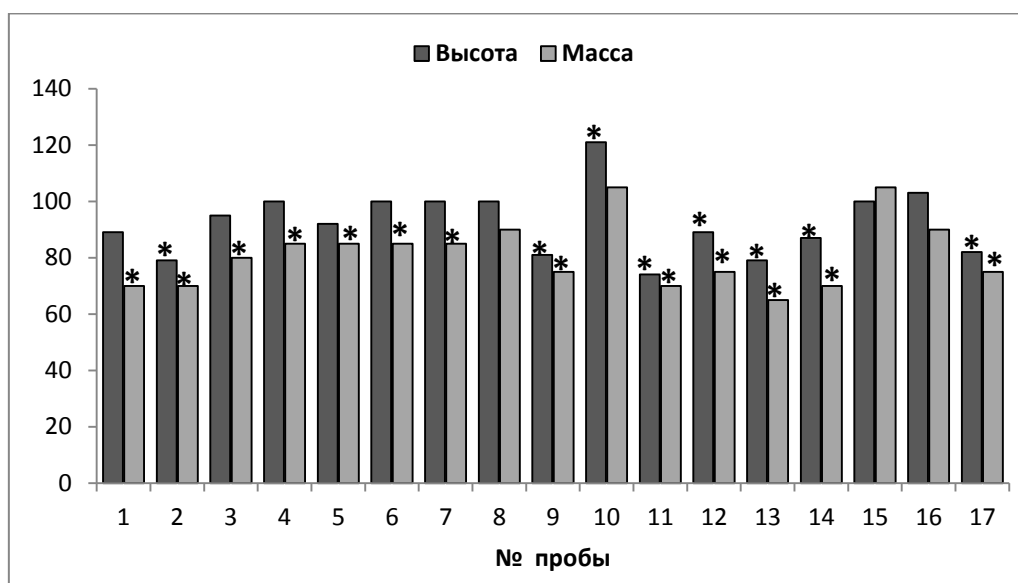


Рис. 98. Высота и масса тест-культуры, выращенной на урбостратоземах УПК на аллювиальных породах (КУ-4), % от контроля: * - существенные различия

Редокс-активность кресс-салата, выращенного на пробах урбостратоземов, отличалась от тест-контроля лишь в сторону уменьшения показателя (рис. 99; приложение 8, табл. 8), т.е. фитотестирование не показало токсичность корневой среды в слое 0-15 см урбостратоземов.

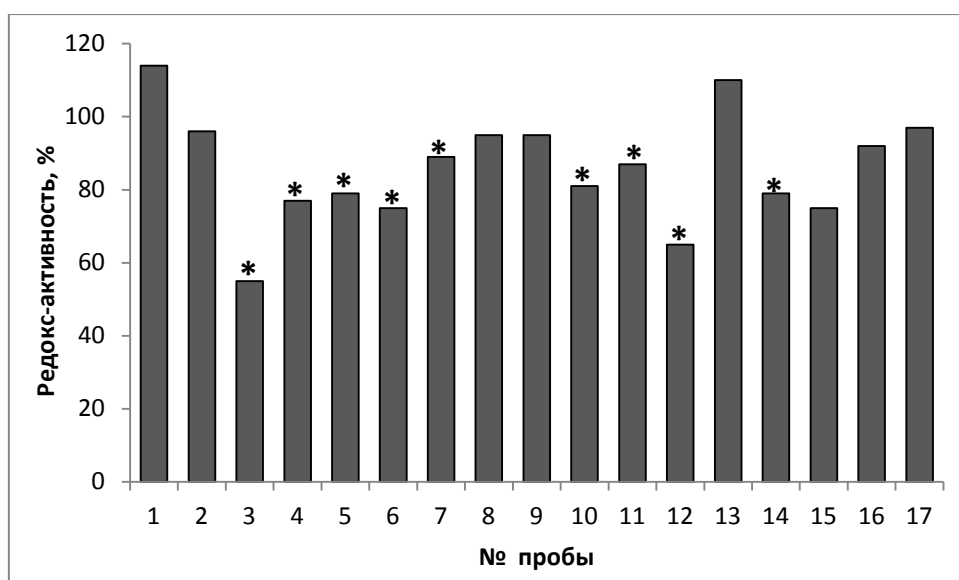


Рис.99. Редокс-активность кресс-салата, выращенного на пробах поверхностных слоев (0-15 см) урбостратоземов в УПК на аллювиальных породах (КУ-4), % от контроля: * - существенные различия

4.5. Сравнительная характеристика экологического состояния почв и техногенных поверхностных образований в урбопедокомплексах

Как указано выше, в силу крайней неоднородности почвенного покрова, мелкоконтурности почв и ТПО для эколого-почвенной оценки состояния территорий мы использовали представления об УПК. Ниже проведем сравнение свойств верхних почвенных слоев разных УПК жилых районов Перми.

Верхние почвенные слои исследуемых УПК характеризовались относительно высоким содержанием органического углерода (рис. 100), что обусловлено внесением (и неоднократным) низинного торфа. Следует заметить, что из-за высокой вариабельности статистический анализ не показал существенных различий в среднем содержании органического углерода, но территория наиболее старой застройки (микрорайон Центр) отличалась тенденцией к повышенному накоплению. Наименьшей обогащенностью почвенным органическим веществом характеризовался

микрорайон недавней застройки (Парковый); в легких почвах которого также ускорена минерализация вносимого торфа.

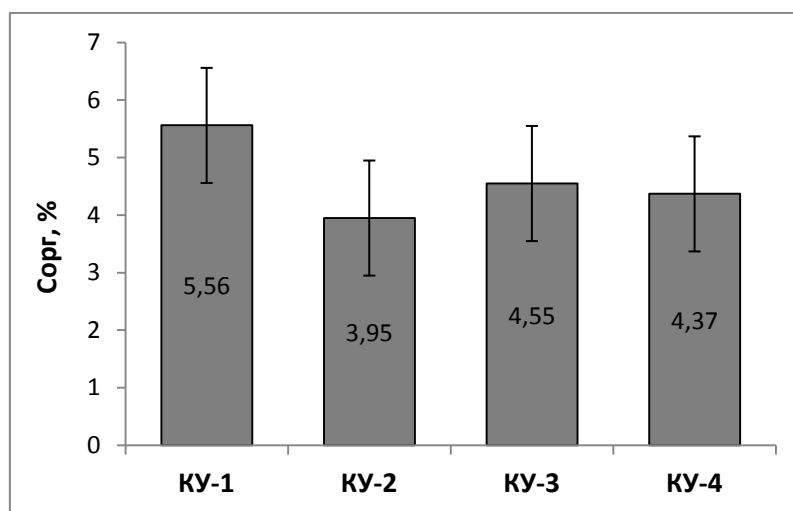


Рис. 100. Среднее содержание органического углерода ($C_{орг}$, %) в почвах и ТПО ключевых участков

Здесь и далее: КУ-1 – УПК на элювиально-делювиальных суглинках; КУ-2 – УПК на древнеаллювиальных песках; КУ-3 – УПК на маломощных делювиальных суглинках; КУ-3 – УПК на аллювиальных породах

На фоне преимущественно нейтрально-слабощелочной среды поверхностные почвенные слои в УПК на элювиально-делювиальных суглинках (КУ-1) в среднем характеризовались меньшей щелочностью из-за внесения кислого торфа при окультуривании (рис. 101).

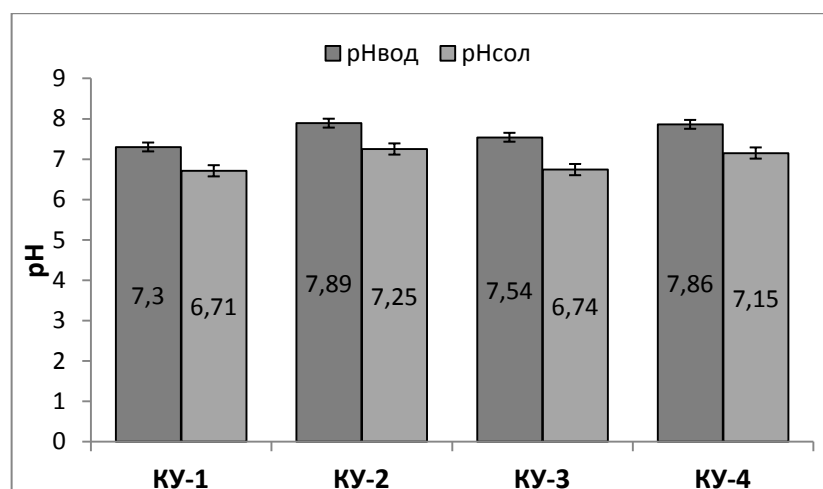


Рис. 101. Средняя величина pH в почвах и ТПО ключевых участков

Ёмкость катионного обмена связана с содержанием в почвах гумуса и гранулометрическим составом. Высокими значениями ёмкости поглощения характеризуются глинистые и гумусированные почвы, поэтому в УПК на элювиально-делювиальных суглинках почвы и квазиземы имели наибольшую поглотительную способность благодаря гранулометрическому составу и повышенному содержанию органического вещества (рис. 102). В УПК на древнеаллювиальных песках отмечены наиболее низкие значения ЕКО.

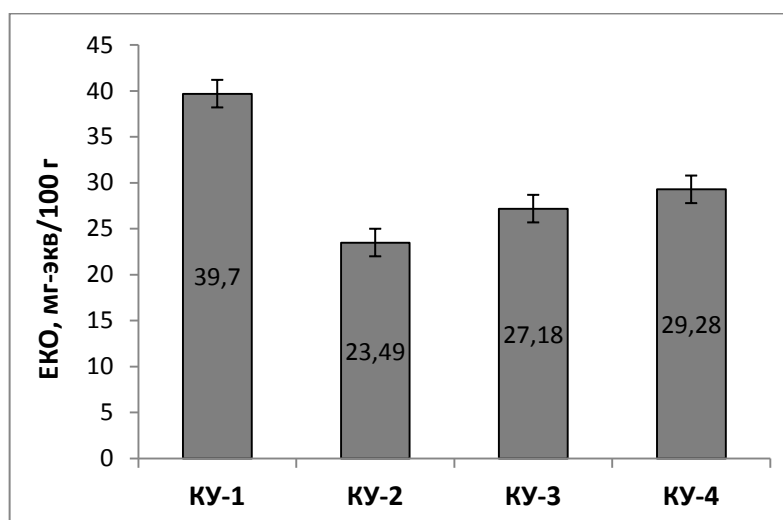


Рис. 102. Средняя ёмкость катионного обмена в почвах и ТПО ключевых участков

По среднему содержанию подвижных фосфатов поверхностные почвенные слои всех УПК были среднеобеспеченными (рис. 103). Для поверхностных почвенных слоев в УПК на элювиально-делювиальных суглинках и в УПК на маломощных делювиальных суглинках установлен в среднем очень высокий уровень содержания калия. Почвы и ТПО в УПК на древнеаллювиальных песках показали наименьший уровень содержания калия из-за легкого гранулометрического состава.

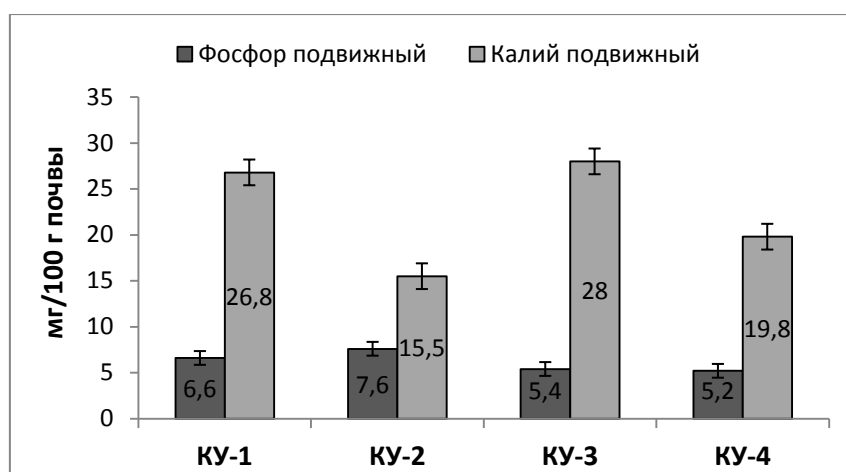


Рис. 103. Среднее содержание подвижных фосфатов и калия в почвах и ТПО ключевых участков

Почвы и ТПО исследованных урбопедокомплексов являются слабокарбонатными (рис. 104). Наибольшее содержание карбонатов отмечено в мелкоземе почв и ТПО УПК на элювиально-делювиальных суглинках, что связано с более длительным периодом накопления карбонатных включений.

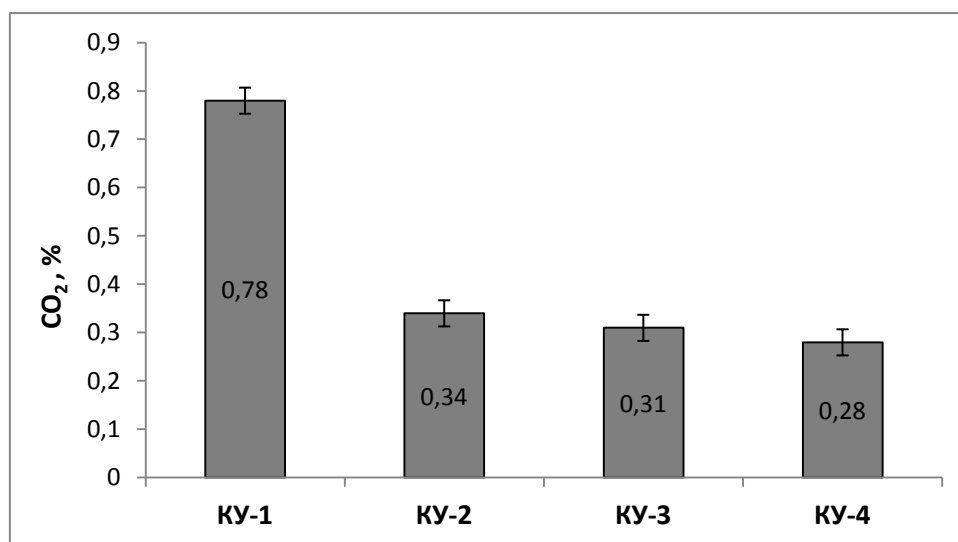


Рис. 104. Содержание карбонатов (СО₂ карбонатов, %) в почвах и ТПО ключевых участков

Подвижность тяжелых металлов в поверхностных почвенных слоях урбопедокомплексов города низкая (рис. 105), т.к. в нейтрально-щелочной среде металлы малоповижны (Глазовская, 1997). Корреляционный анализ

показал сильную зависимость подвижности тяжелых металлов от кислотно-щелочных условий почвенной среды (приложение 8, табл. 9). Математически обоснована меньшая подвижность свинца и кадмия в почвах в УПК на элювиально-делювиальных суглинках относительно других УПК, что, возможно, обусловлено повышенной буферностью обогащенных гумусом почв. В почвах УПК на маломощных делювиальных суглинках несколько выше подвижность меди (рис. 105).

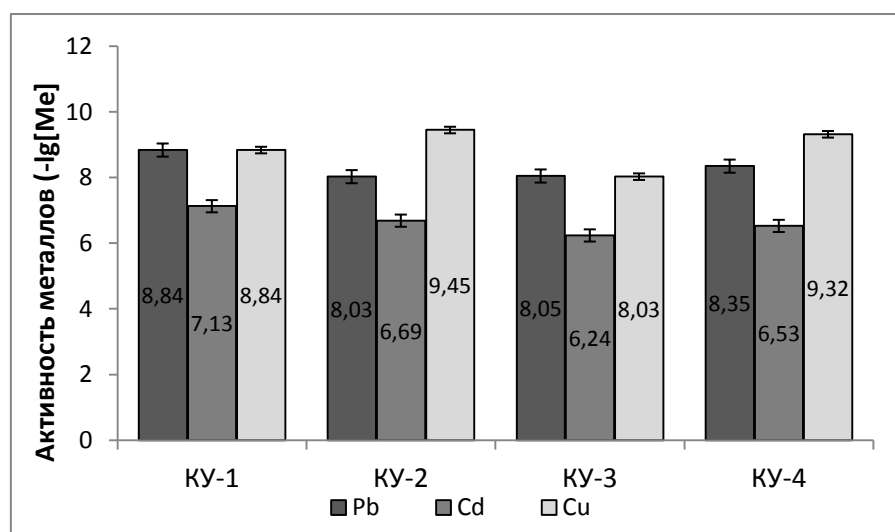


Рис. 105. Подвижность тяжелых металлов в почвах и ТПО ключевых участков

Средняя активность каталазы в поверхностных почвенных слоях разных УПК жилых районов г. Перми свидетельствует по критериям Д.Г. Звягинцева о бедности почв этим ферментом (рис. 104). Переуплотнение почв в районах многоэтажных застроек сопровождается обесструктурированием и снижением содержания кислорода, что является причиной сокращения количества аэробных бактерий, принимающих участие в синтезе каталазы. В УПК на маломощных суглинках, подстилаемых песками и супесями, величина каталазной активности почвенных слоев была несколько выше.

Каталазная активность в городских почвах и ТПО почти не превышала величину активности фермента в дерново-подзолистой почве; но обеспеченность чернозема каталазой оказалась выше более, чем в 3 раза.

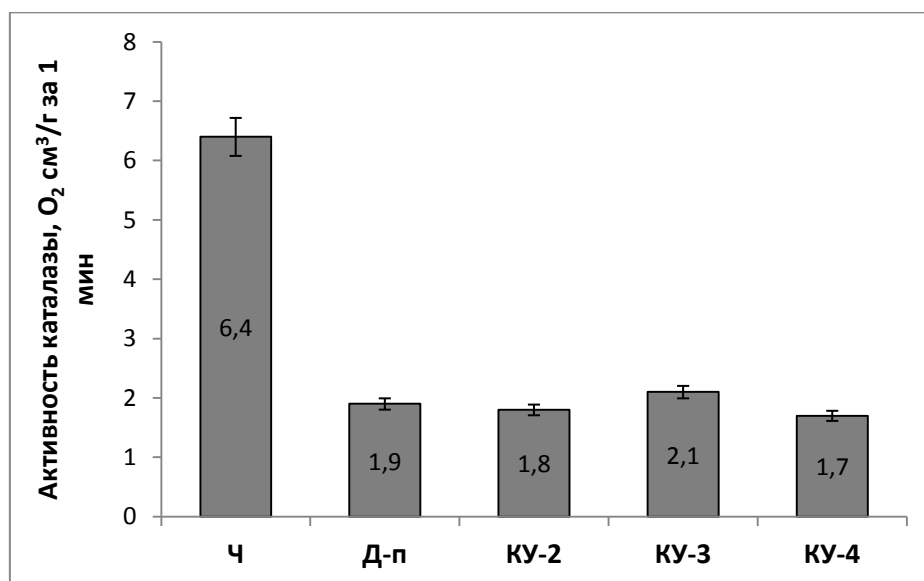


Рис. 106. Активность каталазы ($O_2 \text{ см}^3/\text{г на 1 мин}$) природных почвах и почвах и ТПО ключевых участков (Ч – чернозем, Д-п – дерново-подзолистая)

Таким образом, поверхностные слои городских почв и техногенных поверхностных образований разных урбопедокомплексов обладали некоторыми свойствами, наследуемыми от исходных почвообразующих пород разного генезиса и гранулометрического состава; так, емкость катионного обмена и обеспеченность калием понижены в почвах УПК на древнеаллювиальных песках. Приобретенными свойствами почв и ТПО являются нейтрально-слабощелочная реакция среды, повышенная обеспеченность органическим веществом, калием, карбонатность, уровень подвижности фосфора и тяжелых металлов.

Оценка поверхностных почвенных слоев УПК методом фитотестирования

Сравнение высоты и массы кресс-салата, выращенного на пробах из разных УПК, показало в среднем худшее экологическое состояние у поверхностных слоев почв в УПК на древнеаллювиальных песках,

возможно, из-за пониженного содержания питательных элементов (например, калия) (рис. 107). Несколько лучшее состояние у почв и квазиземов в УПК на маломощном делювии, подстилаемом песками и супесями; что связано с распространением малоэтажной застройки и окультуриванием почв в приусадебных участках.

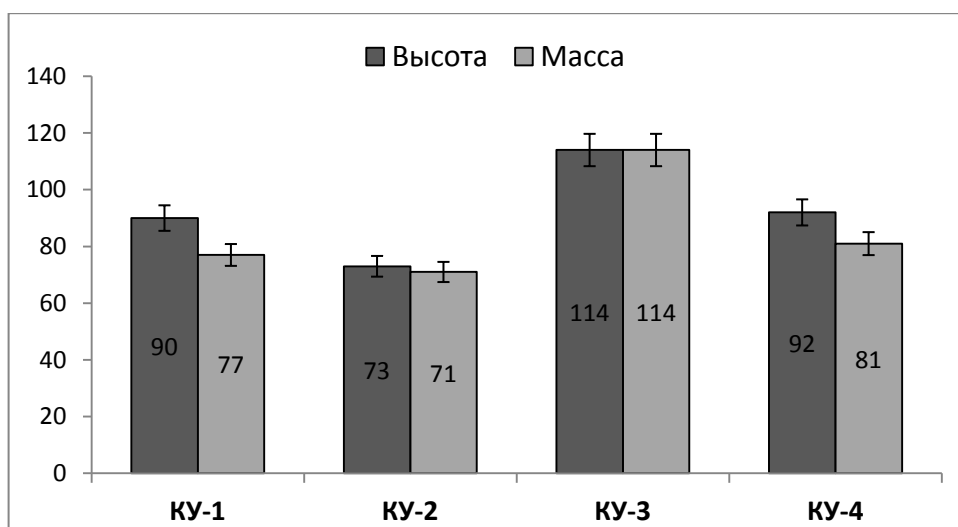


Рис. 107. Высота и масса тест-культуры (% от контроля) в почвах и ТПО ключевых участков

Сравнение редокс-активности растений, выращенных на пробах разных урбопедокомплексов, показало повышенную реакцию (в среднем на 10-30%) у растений на почвенных пробах КУ-1 (УПК на элювиально-делювиальных суглинках); это позволяет считать почвы относительно старого района города токсичными (рис. 108).

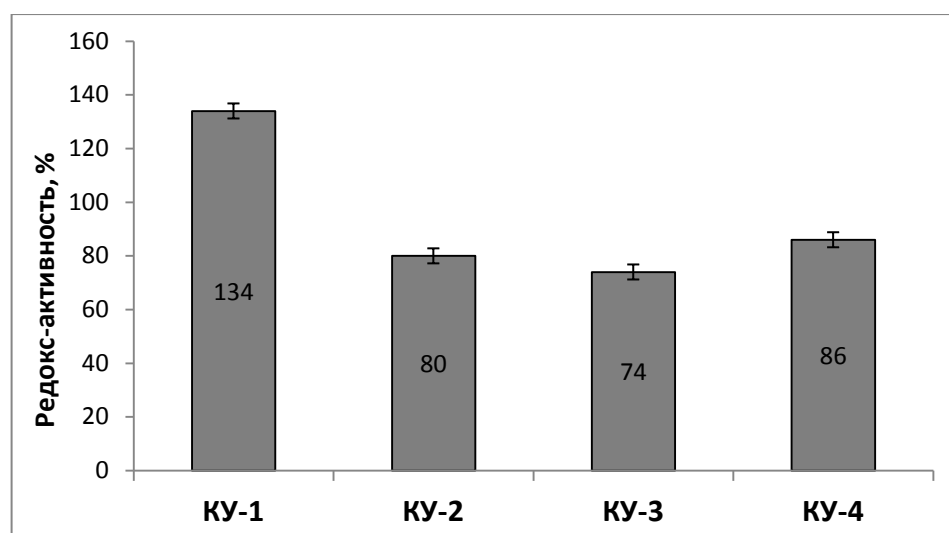


Рис. 108. Редокс-активность (% от контроля) в почвах и ТПО ключевых участков

Применение корреляционного анализа позволило установить зависимость состояния растений от почвенных свойств (табл. 2). На высоту и массу растений достоверное положительное влияние оказали содержание органического вещества, ёмкость катионного обмена, содержание подвижного калия в поверхностных слоях почв и ТПО. Тест-культура отрицательно реагировала на щелочность почвенной среды. Положительная реакция растений на подвижность кадмия и меди (на фоне в целом их низкой активности), возможно, обусловлена опосредованным воздействием менее щелочной почвенной среды.

Таблица 2
Коэффициенты корреляции между состоянием тест-культуры и свойствами поверхностных слоев урбостратоземов и квазиземов

Показатели	C _{орг}	ЕКО	K _{подв}	pH _{вод}	pH _{сол}	Cd	Cu
Высота	0,35	0,40	0,39	-0,36	-0,38	-	-0,41
Масса	0,35	0,38	0,44	-0,42	-0,43	-0,37	-0,48

Примечание. Приведены только существенные коэффициенты корреляции

На основании материалов, изложенных в данной главе, были сделаны следующие выводы:

1. В урбопедокомплексах жилых районов г. Перми преобладали урбостратоземы; формирование урбостратоземов торфяно-эутрофированных обусловлено отсыпкой (и неоднократной) на поверхность низинного торфа. Квазиземы появились на участках относительно новых застроек и благоустройств, когда минеральные грунты покрывали слоем низинного торфа. В квазиземах торфяных «свежий» органогенный слой характеризуется строением и свойствами используемого торфа. Со временем этот слой обогащается минеральным веществом, торф гумифицируется, так образуется квазизем компостно-гумусовый.

2. Поверхностные слои урбостатоземов и квазиземов всех УПК жилых районов Перми характеризовались высокой изменчивостью в содержании органического углерода и поглотительной способности, преимущественно нейтрально-слабощелочной реакцией среды, слабой карбонатностью мелкозема, средней и высокой обеспеченностью подвижными формами фосфора и калия, низкой подвижностью свинца, кадмия и меди.

3. Урбостатоземы и квазиземы в УПК на древнеаллювиальных песках отличались преимущественно песчано-супесчаным гранулометрическим составом, пониженной ёмкостью поглощения и относительно пониженным содержанием подвижного калия в поверхностных слоях.

4. Методом фитотестирования установлено преимущественно удовлетворительное экологическое состояние поверхностных слоев урбостатоземов и квазиземов в УПК на древнеаллювиальных и аллювиальных отложениях, в УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями.

5. В относительно старом микрорайоне города около 30 % поверхностных слоев в УПК на элювиально-делювиальных породах

характеризовались неудовлетворительным экологическим состоянием; при этом на фоне некоторого угнетения тест-культуры была отмечена повышенная редокс-активность, что свидетельствует о токсичности почвенной среды.

5. ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ И ТЕХНОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЗОНЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛЕОТВАЛОВ И ШЛАМОХРАНИЛИЩ

5.1. Почвы и техногенные поверхностные образования в технопедокомплексах

На территории исследований почвенный покров был трансформирован в связи с планировкой поверхности под солеотвалы и шламохранилища, устройством дамб и водоотводящих ложбин, разливом соленых вод, выходом подотвальных вод. Для оценки состояния почвенного покрова нами был использован метод выделения технопедокомплексов (ТПК) – комбинации почв и техногенных поверхностных образований (ТПО) на однородных элементах рельефа, одинаковых почвообразующих породах при сходном техногенном воздействии, предложенный О.З. Еремченко (Еремченко и др., 2017). В составе ТПК зон воздействия солевых отходов на абролитах и литостатах, на аллювиальных почвах со временем образовались вторичные почвы и вторичные солончаки.

В зонах воздействия солевых отходов нашего региона миграция и трансформация техногенных солей проявляются в нетипичных условиях промывного и водозастойного водного режима, они корректируются сезонным перемещением поверхностных и подземных вод. Отсюда следует определенная масштабность развития засоления в почвенном покрове, специфическое разнообразие степени и состава солей в профиле почв.

ТПК на элювиально-делювиальных суглинках, который расположен на склонах холмов и речных долин, был сформирован в результате планировки поверхности под солеотвалы и шламохранилища, устройства дамб и водоотводящих ложбин, а также разлива соленых вод. В ТПК входят вторичные почвы, образовавшиеся за несколько десятилетий на литостратах, абролитах и ТПО. Вне зоны постоянного воздействия техногенных солей сохранились дерново-подзолистые почвы с кислой реакцией почвенной

среды. В 30 м от солеотвала БКПРУ-4 под вторичным лесом на литостратах образовался пелозем без признаков влияния техногенных солей, у которого гумусово-слаборазвитый горизонт W залегает на плотных бурых тяжелых суглинках. Пелозем характеризовался слабокислой реакцией среды и низкой гидролитической кислотностью (в горизонте W – 2.7 мг-экв/100 г почвы) (приложение 9, табл. 1).

На внутреннем и внешнем склонах солеотвала БКПРУ-4 сформировались маломощные серогумусовые вторичные остаточно карбонатные почвы (рис. 109). Их профиль состоит из серогумусового горизонта (AY) мощностью около 10 см, слабо прокрашенного органическим веществом в серый цвет, с включением корней, постепенно переходящего к материнской карбонатной породе – плотной и вязкой, тяжелосуглинистой. Содержание гумуса около 4-5%, реакция среды нейтральная, емкость поглощения выше средней, вскипание почвы с поверхности свидетельствует о карбонатности литогенного происхождения (приложение 9, табл. 1).



Рис. 109. Серогумусовая вторичная остаточно карбонатная почва

На расстоянии 1–1,5 м от солеотвала БКПРУ-4 при постоянном воздействии поверхностных соленых вод под изреженным покровом злаков сформировался солончак вторичный хлоридного калиево-натриевого химизма, глинистый с обилием каменистых включений, ранее содержащихся в солевых отходах. Солончак имеет профиль S[AY]-C, и, по-видимому, сформировался на органолитострате, т.к. содержит относительно много гумуса (6%). Возможно, при устройстве площадок для солеотвала был использован гумусированный материал поверхностных горизонтов темногогумусовых почв, которые в Прикамье развиты на склонах холмов, на элювии пермских красноцветных глин (Еремченко и др., 2016). В верхнем горизонте солончака вторичного содержалось более 1% водорастворимых солей; методом связывания ионов в «гипотетические» соли (по: Мякина, Аринушкина, 1979) было установлено преобладание хлоридов натрия и калия, присутствие сульфата натрия и небольших количеств гидрокарбонатов кальция, магния и натрия (табл. 3).

Таблица 3

**Содержание водорастворимых ионов (мг-экв/100 г) и состав
«гипотетических» солей в солончаке вторичном хлоридном натриево-
калиевом глинистом**

Глубина, см	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Соли (%)
0 – 10	0,73	17,7	0	0,4	0,2	4,6	9,6	1,2
Состав «гипотетических» солей: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, NaHCO_3 , NaCl , KCl								

Солончак не содержал карбонаты, более того, в нем установлено некоторое проявление гидролитической кислотности (4,0 мг-экв/100 г) (приложение 9, табл. 1). Известно, что одновременное присутствие в составе обменных оснований водорода и натрия характерно для солодей (Базилевич, 1967), но эти почвы не содержат легкорастворимых солей. Поскольку натрий является щелочегенным ионом (Перельман, Касимов, 1999), то в природе

отсутствуют засоленные кислые почвы. Сочетание натриевого засоления и слабокислой реакции среды свидетельствует о природно-техногенных процессах функционирования вторичного солончака; несмотря на натриевые соли, при высокой емкости поглощения в почве сохранилась потенциальная кислотность.

Таким образом, в ТПК на элювиально-делювиальных суглинках в зоне воздействия солеотвала входят дерново-подзолистые тяжелосуглинистые почвы, пелозем гумусовый тяжелосуглинистый, серогумусовые остаточные карбонатные суглинистые почвы, солончак вторичный хлоридный натриево-калиевый глинистый. Кроме того, не исключаем присутствия в составе подобных ТПК серогумусовых почв природного строения, сформированных на элювии пермских пород.

ТПК на древнеаллювиальных песках и двучленных породах (пески и супеси на элювии пермских пород) сформировался на камских террасах возле солеотвалов СКРУ-1 и СКРУ-2. При планировке поверхности под солеотвалы часть территории была оскальпирована, для гидроизоляции были отсыпаны тяжелые грунты. В настоящее время на абралитах и литостратах под травяной растительностью сформировались маломощные серогумусовые карбонатные и некарбонатные супесчаные и суглинистые почвы, подстилающиеся элювием пермских пород.

В 40 м от солеотвала СКРУ-1 под изреженной травяным покровом описана серогумусовая супесчаная почва, на поверхности которой присутствовали следы разлива подотвальных вод (рис. 110). Сверху залегает плитка мощностью 2 см светло-желто-бурой окраски, сухая, супесчаная, сильно уплотненная, содержащая карбонаты. Серогумусовый горизонт АУ – желтовато-бурый, мощность 2–18 см, рыхлый, непрочно комковатый, супесчаный. Переходный горизонт неоднороден: слой 18–24 см – серый с желто-бурыми пятнами, увлажненный, супесчаный, непрочно комковатый; слой 24–55 см – желто-рыжий, увлажненный, рыхлый, неоднородного гранулометрического состава: супесчаные и суглинистые фрагменты, слои. С

глубины 55 см залегает подстилающая карбонатная порода – неоднородной окраски с зеленовато-серыми, желто-бурыми и палевыми пятнами, влажная, вязкая, тяжелосуглинистая. В составе гипотетических солей в этой почве присутствуют хлориды натрия и калия и гидрокарбонаты (табл. 4), однако по общему количеству водорастворимых солей почва является незасоленной.



Рис. 110. Серогумусовая супесчаная почва

На берегу соленого пруда – накопителя у солеотвала СКРУ-2 под покровом бескильницы описана серогумусовая глееватая глинистая почва, образовавшаяся на карбонатном литострате (рис. 111). Серогумусовый горизонт – АУе, мощность 0–23/23 см, в верхнем сантиметровом слое густо переплетен корнями; бурого цвета, имеет осветленные прослойки и языки, глинистый, уплотненный; структура слитнопылеватая. С глубины 23 см залегает глинистый плотный грунт (Сg), лишенный слоев и структуры; имеет коричнево-бурую окраску, встречаются сизовато-бурые оттенки, ржавые пятна, мелкие угольки. Почва вскипает с глубины 60 см.



Рис. 111. Серогумусовая глееватая глинистая почва (Еремченко и др., 2016)

Вблизи солеотвалов при регулярном воздействии поверхностных и подземных соленых вод за несколько десятилетий из литостратов и абролитов образовались серогумусовые глееватые солончаковатые почвы и солончаки вторичные. У солеотвала СКРУ-1 в ложбинообразном понижении, почти лишенном растений, был исследован солончак вторичный хлоридный натриевый, сформировавшийся, по-видимому, по серогумусовой глееватой суглинистой почве (рис. 112). На поверхности почвы расположена глинисто-песчано-солевая корка толщиной 2 мм намывного происхождения. S[AYg] – солончаковый глееватый горизонт, 2–27/25 см, темно-буро-коричневый с сизоватыми и рыжими пятнами, с ржавым мицелием; слитно-пластинчатый, уплотненный, среднесуглинистый. В горизонте присутствовали светло-желтые и красноватые кристаллы минералов-солей. Переход к следующему горизонту – заметный. Ниже залегает неоднородная солончаковая глееватая порода S[Cg]: слой 27– 42/15 см – мелкий песок, коричнево-бурого цвета с

сизым оттенком, бесструктурный, влажноватый; слой 42–94/52 см – более светлой желтоватой окраски с сизоватыми и рыжими пятнышками, среднесуглинистый с фрагментами и прослойками глинистого материала; с глубины 94 см – песок палево-желтого цвета, местами имеет сизоватые оттенки; более влажный.



Рис. 112. Солончак вторичный хлоридный натриевый по серогумусовой глееватой суглинистой почве (Еремченко и др., 2016)

Солончак вторичный и солончаковые почвы у солеотвала СКРУ-1 характеризовались хлоридным натриевым и сульфатно-хлоридным кальциево-натриевым химизмом. В составе «гипотетических солей» при хлоридном химизме преобладали хлориды, появлялось небольшое количество двууглекислой соды (табл. 4). При сульфатно-хлоридном химизме засоления почв присутствовали сульфаты, в том числе, гипс (приложение 9, табл. 4, 5).

**Содержание водорастворимых ионов (мг-экв/100 г) и состав
«гипотетических» солей в почвах**

ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях, двучленных породах

Почва	Глубина, см	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Соли, %
Серогумусовая супесчаная почва	1-11	0,48	1,3	0	0,4	0,1	0,2	0,2	0,1
	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, NaCl , KCl , MgCl_2								
	13-23	0,29	0,6	0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, NaHCO_3 , NaCl , KCl								
	38-48	0,22	1,0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, NaHCO_3 , NaCl , KCl								
	60-70	1,13	0,6	0	0,3	0,1	1,0	0,2	0,1
	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, NaHCO_3 , NaCl , KCl								
Солончак вторичный хлоридный натриевый по серогумусовой глеевой суглинистой почве	2-12	0,74	81,4	0	1,4	0,1	58,7	0,1	4,4
	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, NaCl , KCl , MgCl_2 , CaCl_2								
	13-23	0,66	37,3	0	0,6	0,1	30,4	0,1	2,1
	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, NaHCO_3 , NaCl , KCl , MgCl_2								
	28-38	0,53	23,2	3,0	0,5	0,1	26,1	0,1	1,6
	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, NaHCO_3 , Na_2SO_4 , NaCl , KCl , MgCl_2								
	65-75	0,13	55,4	0	0,6	0,1	43,5	0,1	3,1
	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, NaCl , KCl , MgCl_2 , CaCl_2								
	95-105	0,10	37,3	0	0,6	0,1	30,4	0,1	2,1
	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, NaCl , KCl , MgCl_2 , CaCl_2								

Содержание карбонатов в почвенном мелкоземе солончака и солончаковых почв составляло 0.4–0.9%, что могло быть связано с литогенными карбонатами пермских пород, а также с трансформацией техногенных солей (приложение 9, табл. 4).

Таким образом, в ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях, двучленных породах в зоне воздействия солеотвалов входят серогумусовые почвы легкого и тяжелого гранулометрического состава, в том числе,

глееватые, остаточны карбонатные, а также серогумусовые солончаковые почвы и солончаки вторичные хлоридного натриево-калиевого и сульфатно-хлоридного кальциево-натриевого химизма.

В долинах малых рек образовались ТПК на аллювиальных почвах, испытывающих воздействие подотвальных соленых вод и вод из рассолоподъемных скважин. На расстоянии 1150 м от шламохранилища БКПРУ-3 в пойме р. Лёнвы, в 2 м от русла, сформировалась аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная натриево-магниевая кальциевая солончаковая почва (рис. 113). Серогумусовый горизонт $A_{Ys,g}$, мощностью 0–20/20 см; до глубины 10 см он густо переплетен корнями трав, ниже корни единичные; серо-бурый, более темный до глубины 14 см; структура комковато-порошистая; с глубины 18 см появляются признаки оглеения в виде сизой окраски и ржавых пятен. По корневицам присутствовали железистые новообразования; переход к породе волнистый, постепенный. Оглеенная почвообразующая порода C_g (глееватость около 30% площади горизонта) – 20–70/50 см, бурого цвета, характерны ржавые пятна и много железомарганцевых конкреций. С глубины 70 см залегала аллювиальная глеевая порода **CG** – сизая, с ржавыми примазками; глубже 100 см она становилась сизой, без рыжих пятен.



Рис. 113. Аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная натриево-магниевый-кальциевый солончаковый почва

В долине р. Черной, в условиях подтопления подотвальными водами БКПРУ-3, расположено солонное болото. Здесь описан глеезем хлоридный натриевый солончаковый (рис. 114) . Подстильно-торфяной горизонт $O_{g,s}$ – бурый-коричневого цвета, 0–10/10 см, состоящий из органического материала разной степени разложения. С глубины 10 см залегает глееватый горизонт G_s – сизого цвета с ржавыми пятнами, бесструктурный, увлажненный.



Рис. 114. Глеезем хлоридный натриевый солончаковый

В пойме р. Усолки из старых рассолоподъемных скважин изливаются соленые ручьи, по берегам которых произрастают солеросы. На расстоянии 15–20 м от русла был описан солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый по аллювиальной гумусовой глеевой почве (рис. 115). У этой почвы солончаковый оглеенный горизонт [S]AYg мощностью 0-43/43 см характеризовался неоднородной окраской: до глубины 12 см светло-коричнево-бурый с ржавыми примазками, глинистый; в целом бесструктурный, местами со слабо намечающейся комковатой структурой; ниже – сизовато-бурый с рыжими пятнами, пестрый, глинистый, бесструктурный; с глубины 26 см – буровато-сизого оттенка с намечающейся пластинчатостью; ниже 27 см – рыжие пятна отсутствуют; червоточин мало, встречаются угольки. Глеевый горизонт Gs – 43–95/52 см, темно-серо-сизый; на глубине 80–90 см находилась гниющая древесина, встречались камни. Аллювиальная глеевая порода CGs залегает с глубины 95 см, светло-серая и голубовато-сизая; влажноватая, бесструктурная, глинистая, мажущаяся, пластичная, уплотненная, с запахом сероводорода.



Рис. 115. Солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый по аллювиальной гумусовой глеевой почве

В верхних горизонтах аллювиальных почв общее количество водорастворимых солей составляло от 0.5 до 25% веса почвы; химизм засоления хлоридный натриево-магниевый-кальциевый и сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый. В составе «гипотетических» солей преобладали хлориды, в том числе, хлориды магния и кальция (табл. 5). В природных условиях накопление хлоридов происходит в аридном климате (Перельман, Касимов, 1999); в таежно-лесной зоне присутствие хлоридов в почвенном профиле возможно только при постоянном поступлении техногенных солей с подотвальными водами или из рассолоподъемных скважин.

Таблица 5

**Содержание водорастворимых ионов (мг-экв/100 г) и состав
«гипотетических» солей в почвах ТПК на аллювиальных породах**

Почва	Глубина, см	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Соли, %
Аллювиальная гумусовая глееватая солончаковая хлоридная натриево- магниевая- кальциевая почва	5-15	0,19	9,3	0	3,8	1,7	1,7	0,2	0,5
	Ca(HCO ₃) ₂ , NaCl, KCl, MgCl ₂ , CaCl ₂								
	20-30	0,10	4,6	0	1,5	1,2	1,3	0,1	0,3
	Ca(HCO ₃) ₂ , NaCl, KCl, MgCl ₂ , CaCl ₂								
	32-42	0,18	6,4	0	2,0	1,1	1,7	0,2	0,4
	Ca(HCO ₃) ₂ , NaCl, KCl, MgCl ₂ , CaCl ₂								
	50-60	0,90	10,7	0	4,8	2,5	2,2	0,2	0,6
	Ca(HCO ₃) ₂ , NaCl, KCl, MgCl ₂ , CaCl ₂								
	70-80	0,13	25,4	0	13,6	6,6	4,7	0,2	1,4
	Ca(HCO ₃) ₂ , NaCl, KCl, MgCl ₂ , CaCl ₂								
Солончак вторичный сульфатно- хлоридный кальциево- натриевый по аллювиальной перегнойно-глеевой суглинистой почве	0-3	0,18	406,2	168,9	163,0	60,0	108,7	243,6	39,0
	Ca(HCO ₃) ₂ , CaSO ₄ , Na ₂ SO ₄ , MgSO ₄ , KCl, MgCl ₂								
	5-15	0,44	286,4	122,3	104,0	67,0	237,0	1,2	24,8
	Ca(HCO ₃) ₂ , CaSO ₄ , Na ₂ SO ₄ , NaCl, KCl, MgCl ₂								
	35-45	0,30	90,9	193,7	109,0	102,0	73,9	0,1	17,8
	Ca(HCO ₃) ₂ , CaSO ₄ , Na ₂ SO ₄ , MgSO ₄ , NaCl, KCl, MgCl ₂								

Солончаки в ТПК на аллювиальных породах содержали карбонаты – 0,2–0,3% (приложение 9, табл. 7), в солончаковых почвах карбонаты отсутствовали.

Таким образом, в составе ТПК на аллювиальных породах, находящихся под воздействием подотвальных и рассолоподъемных вод, гумусовые, перегнойно-глеевые почвы и глееземы сочетаются с солончаковатыми и солончаковыми аналогами, а также с солончаками вторичными хлоридного

кальциево-магниево-натриевого и сульфатно-хлоридного натриево-кальциевого химизма.

5.2. Состояние почв в технопедокомплексе на элювиально-делювиальных суглинках и выходах коренных пород

Свойства почв в ТПК

В почвах ТПК на элювиально-делювиальных суглинках и элювии пермских пород содержание органического углерода варьировало от 1,5 до 3,51% (рис. 116; приложение 9, табл. 1), что обусловлено отсыпкой разных почвогрунтов, в том, числе, содержащих гумусированный почвенный материал. Следует отметить, что наибольшее содержание $C_{орг}$ обнаружено у солончака вторичного. В целом, согласно принятым критериям (Вальков и др., 2004) почвы данного ТПК характеризуются низким и средним уровнем содержания органического вещества.

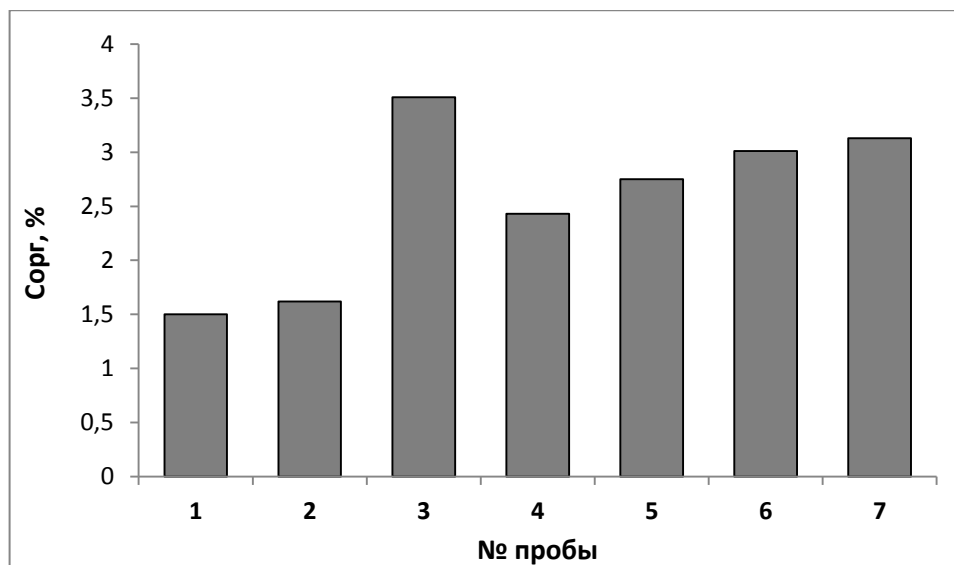


Рис. 116. Содержание органического углерода ($C_{орг}, \%$) в почвах в ТПК на элювиально-делювиальных суглинках и выходах коренных пермских пород

Здесь и далее в данном ТПК: 1 – дерново-глубокоподзолистая тяжелосуглинистая; 2 – пелозем гумусовый тяжелосуглинистый; 3 – солончак вторичный хлоридный натриево-калиевый тяжелосуглинистый; 4,5 – серогумусовые тяжелосуглинистые почвы; 6,7 – серогумусовые остаточные карбонатные тяжелосуглинистые почвы

У почв реакция среды изменялась от резко кислой до нейтральной ($pH_{\text{вод}} = 4,52 - 7,13$; $pH_{\text{сол}} = 3,86 - 7,05$) (рис. 117; приложение 9, табл. 1). Кислую реакцию имели природная дерново-подзолистая почва и вторичные незасоленные почвы; у них проявилась и гидролитическая кислотность. Нейтральной средой характеризовались вторичные почвы, образовавшиеся на карбонатных литостратах, а также вторичные солончаки и солончаковые почвы.

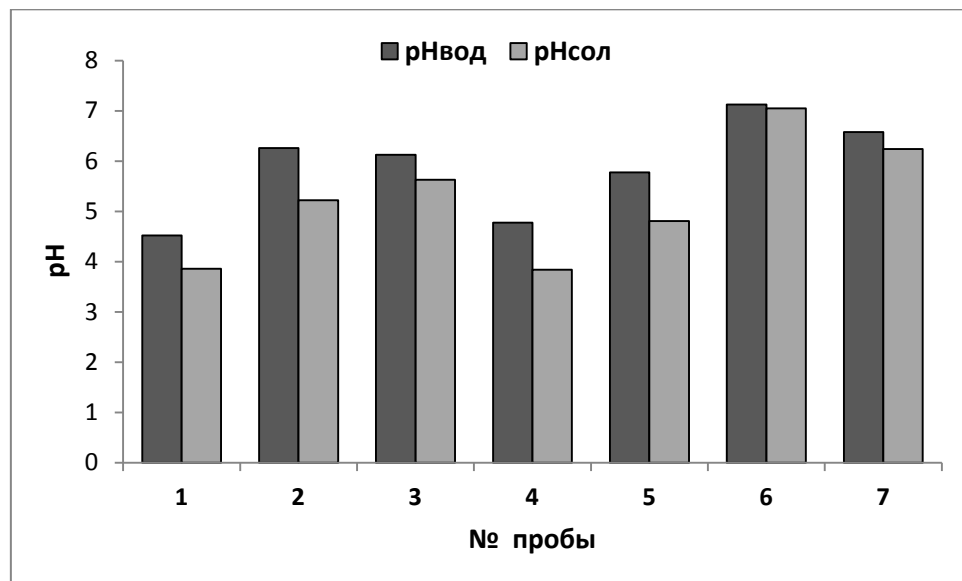


Рис. 117. Актуальная ($pH_{\text{вод}}$) и обменная ($pH_{\text{сол}}$) кислотность в почвах в ТПК на элювиально-делювиальных суглинках и выходах коренных пород

Средняя поглотительная способность характерна для серогумусового горизонта дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (рис. 118; приложение 9, табл. 1). У вторичных почв ЕКО варьировала от средней до очень высокой. Значительная ее изменчивость обусловлена свойствами исходных почвогрунтов (гранулометрический состав, остаточное органическое вещество), на которых образовались почвы.

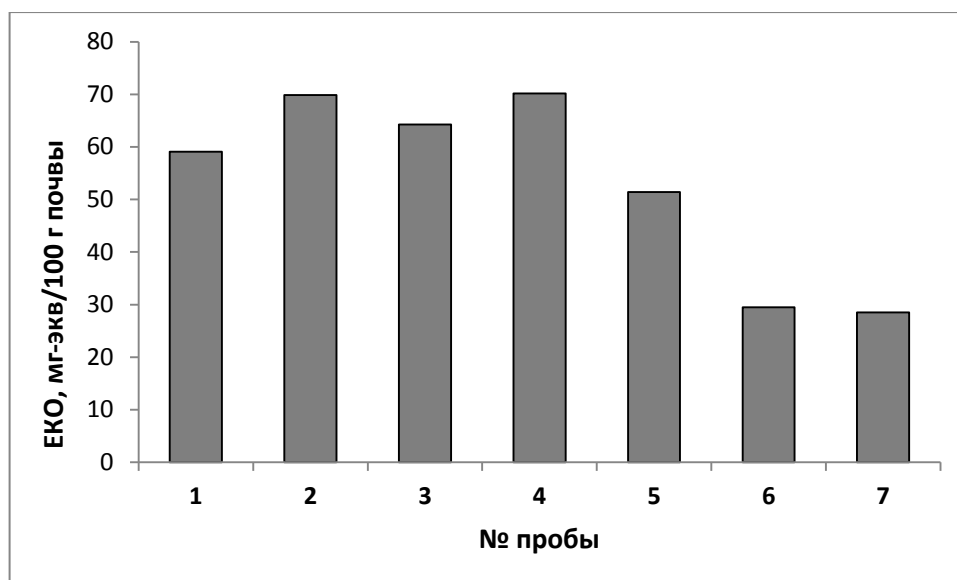


Рис. 118. Емкость катионного обмена (ЕКО, мг-экв/100 г почвы) в почвах в ТПК на элювиально-делювиальных суглинках и выходах коренных пород

В содержании подвижных фосфатов у почв выявлена заметная изменчивость – от 0,67 мг/100 г до 24,3 мг/100 г (рис. 119; приложение 9, табл. 1). Уровень обеспеченности фосфатами – от очень низкого в дерново-подзолистой почве и до высокого в серогумусовой остаточно-карбонатной почве.

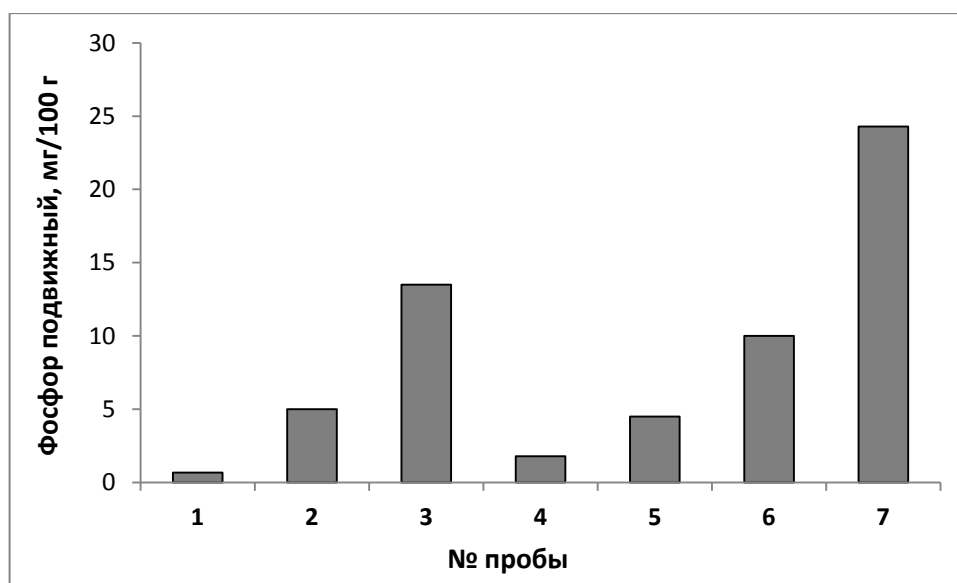


Рис.119. Содержание подвижного фосфатов (мг/100 г) в почвах в ТПК на элювиально-делювиальных суглинках и выходах коренных пород

Содержание подвижного калия в почвах варьировало от низкого и до высокого (1,5 – 27,5 мг/100 г). В солончаке его количество достигло наибольшего уровня из-за техногенных калиевых солей – 850 мг/100 г. (рис. 120; приложение 9, табл. 1). Минимальное количество подвижного калия установлено в серогумусовой остаточно карбонатной почве.

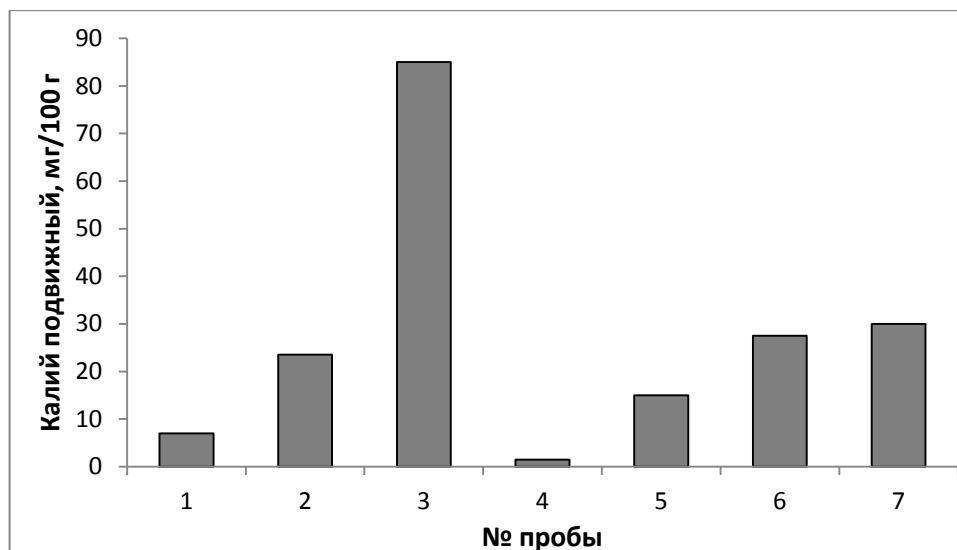


Рис. 120. Содержание подвижного калия (мг/100 г) в почвах в ТПК на элювиально-делювиальных суглинках и выходах коренных пород: * - содержание калия в солончаке (№3), следует умножить на 10

Содержание водорастворимого натрия наибольшее в солончаке вторичном, в остальных почвах содержание этих ионов не превышало 0,5 мг-экв/100 г (рис. 121; приложение 9, табл. 2).

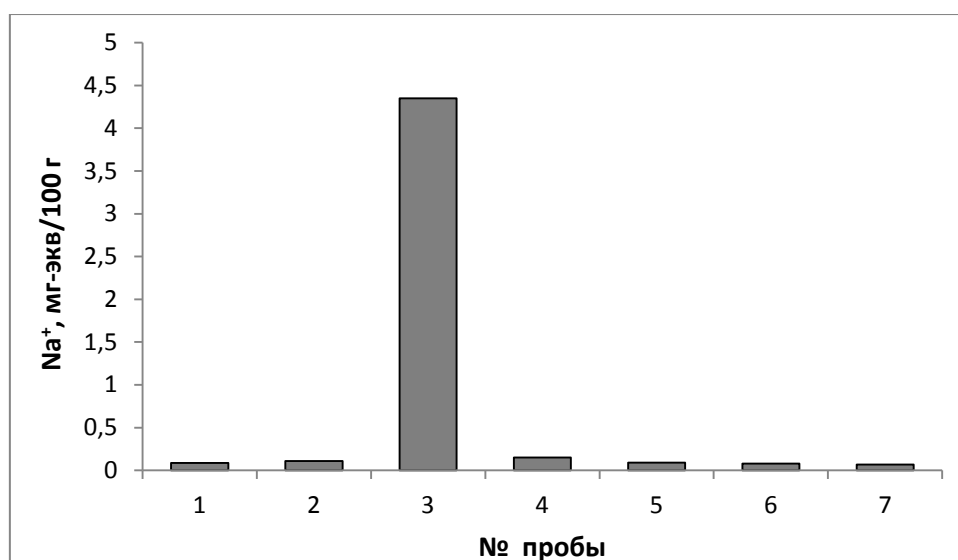


Рис. 121. Содержание водорастворимого натрия (Na^+ , мг-экв/100 г) в почвах в ТПК на элювиально-делювиальных суглинках и выходах коренных пород

Содержание водорастворимых ионов хлора в почвах данного ТПК варьировало от 0,45 до 1,88 мг-экв/100 г, но солончаке вторичном их количество на порядок выше (рис. 122; приложение 9, табл. 2).

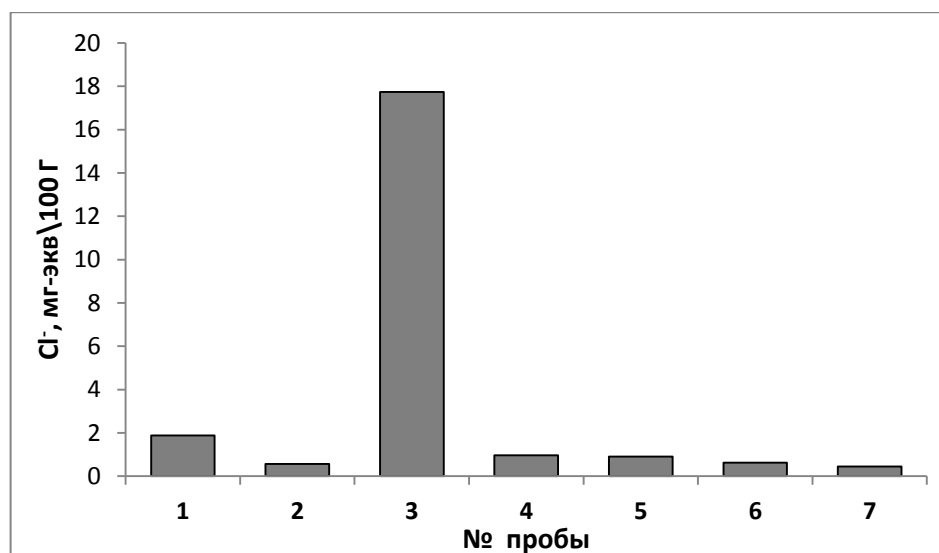


Рис. 122. Содержание водорастворимых ионов хлора (мг-экв/100 г) в почвах в ТПК на элювиально-делювиальных суглинках и выходах коренных пород

В почвах данного ТПК не обнаружено водорастворимых сульфатов.

Активность каталазы варьировала в широких пределах от 0,4 до 4,3 O_2 $\text{см}^3/\text{г}$ за 1 мин (рис. 123), что характеризует почвы как бедные и средне обогащенные этим ферментом. Минимальное значение каталазной активности показал пелозем (0,4 O_2 $\text{см}^3/\text{г}$ за 1 мин), максимальное 4,3 O_2 $\text{см}^3/\text{г}$ за 1 мин – серогумусовая остаточно карбонатная почва. Выявлена сильная отрицательная связь активности каталазы с емкостью катионного обмена ($R = -0,97$).

Минимальные значения активности каталазы в почвах и ТПО данного ТПК соответствуют значениям в псаммоземе гумусовом, максимальные – уступают черноземы (приложение 3, табл.)

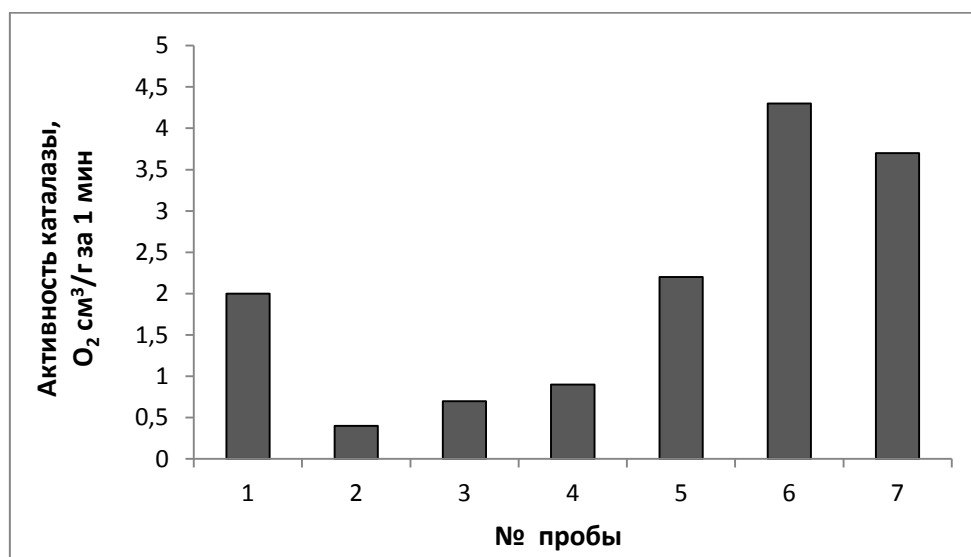


Рис. 123. Активность каталазы (O_2 $\text{см}^3/\text{г}$ за 1 мин) в почвах в ТПК на элювиально-делювиальных суглинках и выходах коренных пород

Фитотестирование почв

По состоянию кресс-салата, выращенного на почвенных пробах из ТПК на элювиально-делювиальных суглинках и элювии пермских пород, установлено как хорошее экологическое состояние (без токсичности), так и предельная токсичность (солончак) при полном отсутствии всходов растений (рис. 124; приложение 9, табл. 3). Хорошее и удовлетворительное экологическое состояние показали при фитотестировании серогумусовые суглинистые почвы. Пелозем и дерново-глубокоподзолистая почва характеризовались неудовлетворительным экологическим состоянием, о чем свидетельствовали показатели высоты и массы (рис. 118).

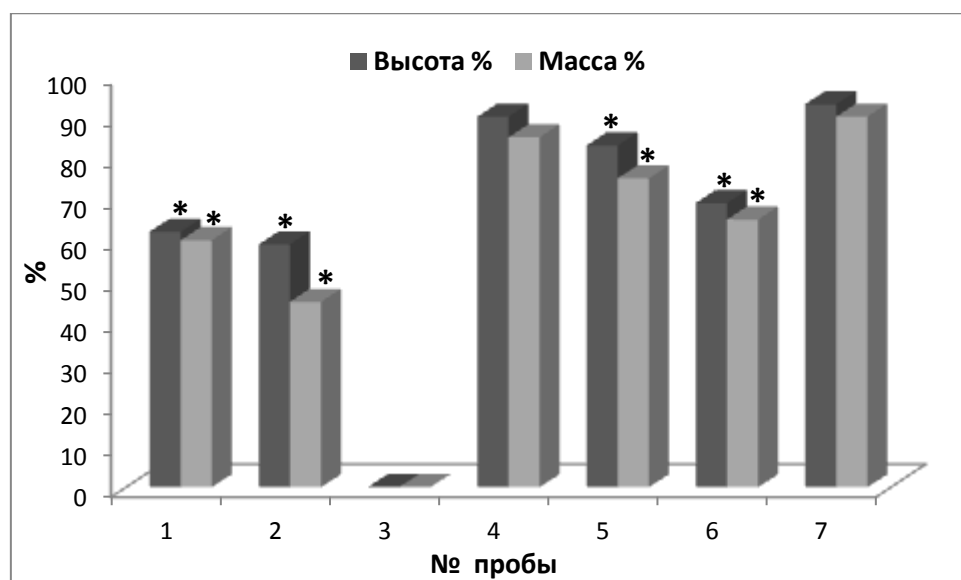


Рис. 124. Высота и масса тест-культуры, выращенной на почвах ТПК на элювиально-делювиальных суглинках и выходах коренных пород, % от контроля: * - существенные различия

Повышение редокс-активности тест-культуры, выращенной на пробе пелозема гумусового, более чем на 50% указывает на экологически опасное состояние данной почвы (рис. 125; приложение 9, табл. 3). Экологически неудовлетворительным состоянием характеризовалась серогумусовая остаточно-карбонатная почва с внутреннего склона дамбы солеотвала БКПРУ-3. Токсичность остальных почв по данной тест-реакции не проявилась.

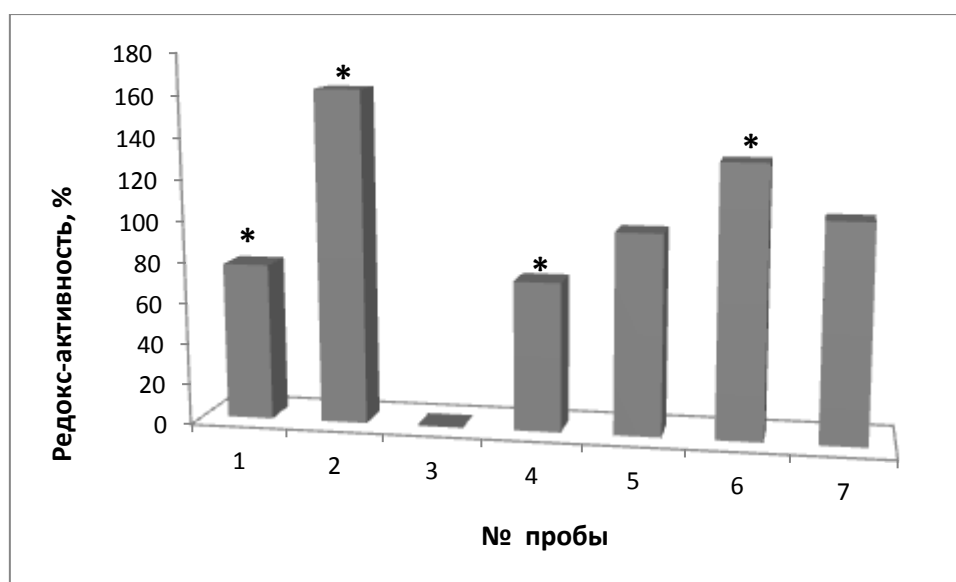


Рис. 125. Редокс-активность кресс-салата, выращенного на почвах ТПК на элювиально-делювиального суглинках и выходах коренных пород, % от контроля: * - существенные различия

5.3. Состояние почв и техногенных поверхностных образований в технопедокомплексе на древнеаллювиальных песках и супесях и двучленных породах

Свойства почв и ТПО в ТПК

В данном ТПК литостраты и вторичные почвы характеризовались низким и средним содержанием органического углерода (рис. 126; приложение 9, табл. 4), его содержание варьировало от 0,1% в литострате песчаном до 2,25% в серогумусовой остаточно-карбонатной суглинистой почве.

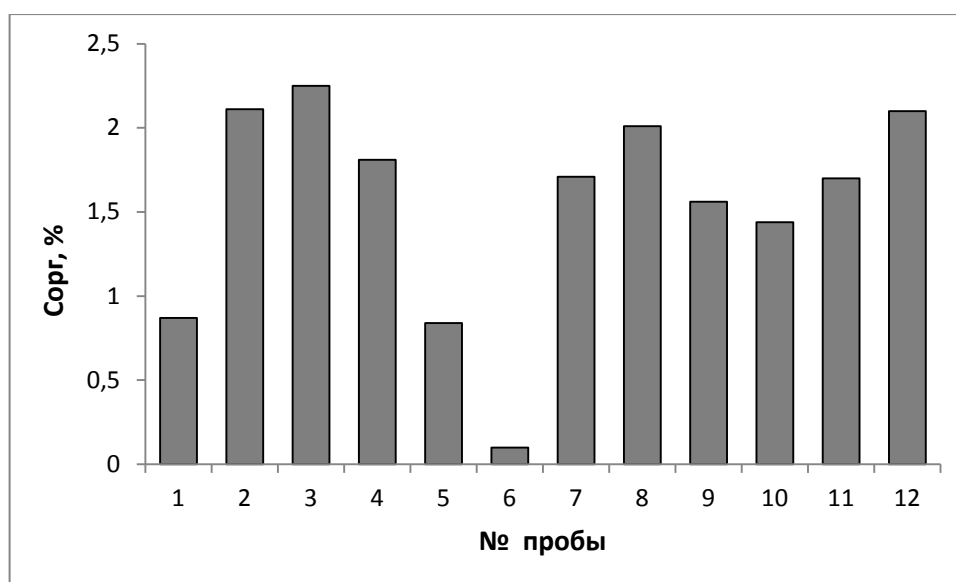


Рис. 126. Содержание органического углерода ($C_{\text{орг}}$, %) в почвах и ТПО в ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях и двучленных породах

Здесь и далее в данном ТПК: 1 – литострат остаточного-карбонатного глинистый; 2, 3, 4 – серогумусовые остаточного-карбонатные супесчаные и суглинисто-глинистые почвы; 5 – солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый по литострату супесчаному; 6 – литострат глееватый песчаный остаточного-карбонатный; 7 – серогумусовая остаточного-карбонатная суглинисто-глинистая почва; 8 – солончак вторичный хлоридный натриевый по серогумусовой глееватой суглинистой почве; 9, 10 – серогумусовые супесчаные почвы; 11, 12 – серогумусовые суглинистые остаточного-карбонатные почвы

Реакция почвенного раствора изменялась от слабокислой и до слабощелочной (рис. 127; приложение 9, табл. 4), $pH_{\text{вод}}$ – от 6,32 до 8,1, $pH_{\text{сол}}$ – от 5,08 до 7,19. Нейтральную среду имела серогумусовая супесчаная почва, слабощелочную – литострат остаточного-карбонатный глинистый.

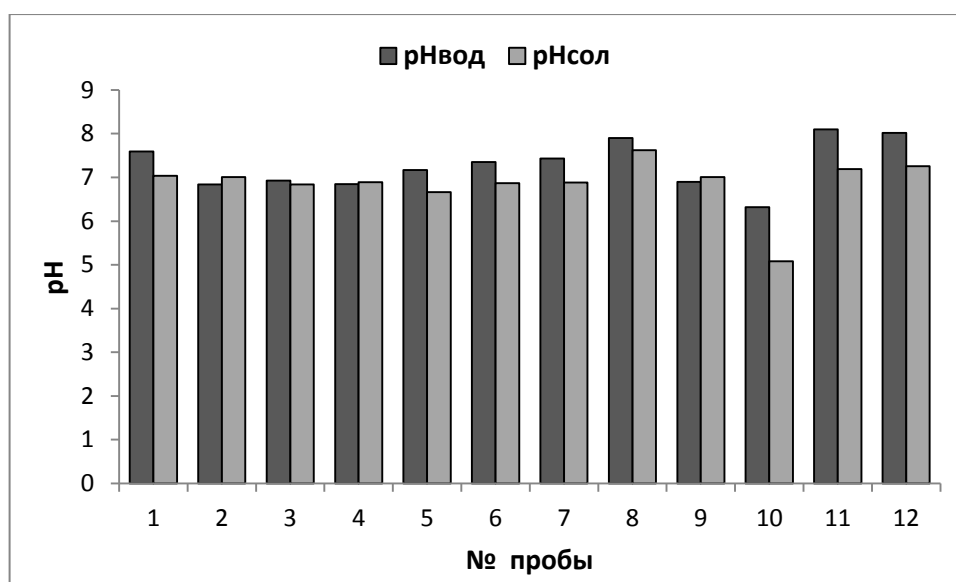


Рис. 127. Величина pH почв и ТПО в ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях и двучленных породах

Поглотительная способность почв и ТПО в ТПК значительно изменялась – от 1,29 до 69,3 мг-экв/100 г (рис. 128; приложение 9, табл. 4). Высокую ЕКО имели серогумусовые почвы, образующиеся на тяжелосуглинистых грунтах. Низкой ёмкостью поглощения характеризовались литострат остаточно-карбонатный и серогумусовые супесчаные почвы.

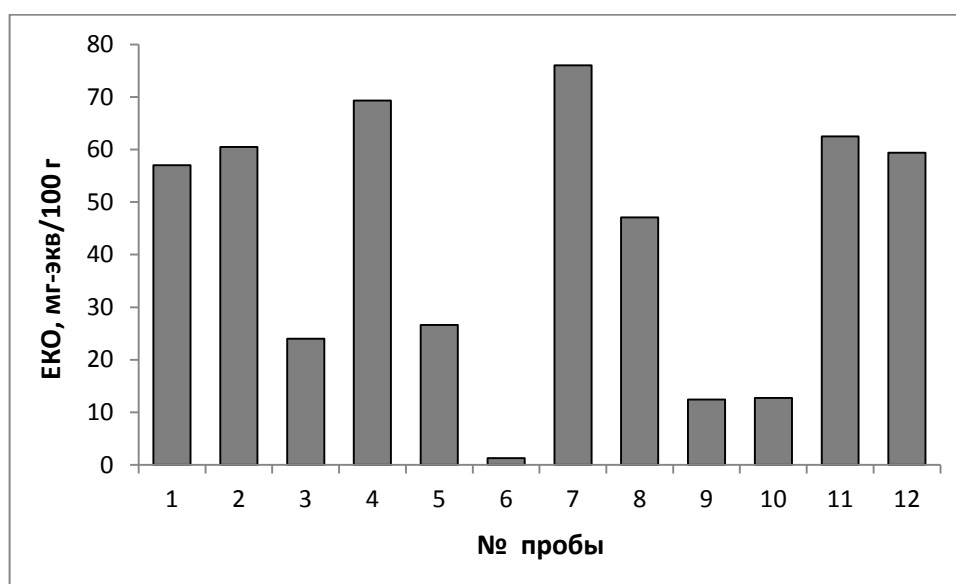


Рис. 128. Емкость катионного обмена (ЕКО, мг-экв/100 г почвы) в почвах и ТПО в ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях и двучленных породах

В данном ТПК почвы и ТПО характеризовались низким и повышенным содержанием подвижного фосфора (рис. 129; приложение 9, табл. 4), вариация в поверхностных слоях составила от 0,3 до 12,3 мг/100 г почвы. Низкий уровень содержания фосфора установлен в литостратах, серогумусовой остаточно-карбонатной почве и солончаке вторичном.

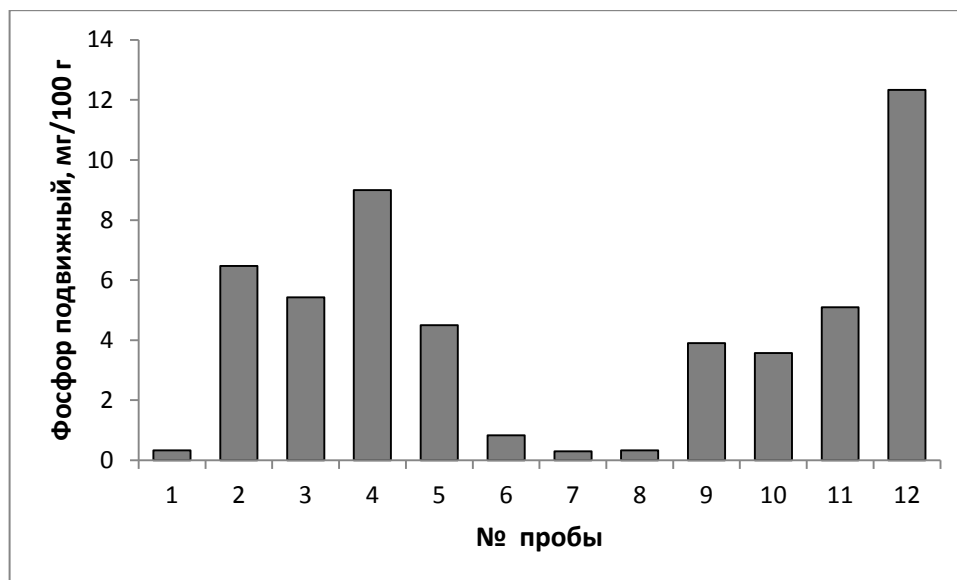


Рис. 129. Содержание подвижного фосфора (мг/100 г) в почвах и ТПО в ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях и двучленных породах

Количество подвижного калия в почвах варьировало от среднего до очень высокого (рис. 130; приложение 9, табл. 4). Уровень его содержания в 200 и 400 мг/100 г почвы, по-видимому, обусловлен аккумуляцией техногенного калия.

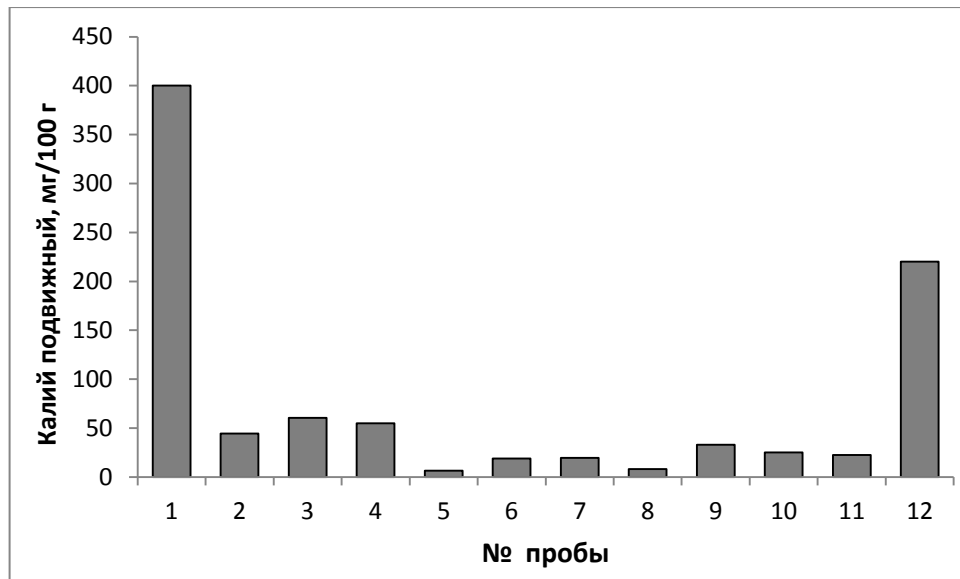


Рис. 130. Содержание подвижного калия (мг/100 г) в почвах и ТПО в ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях и двучленных породах

Содержание водорастворимых ионов натрия было наибольшим в солончаках вторичных. В остальных почвах их количество варьировало в низких пределах: от 0,07 до 1,43 мг-экв/100 г почвы (рис. 131; приложение 9, табл. 5).

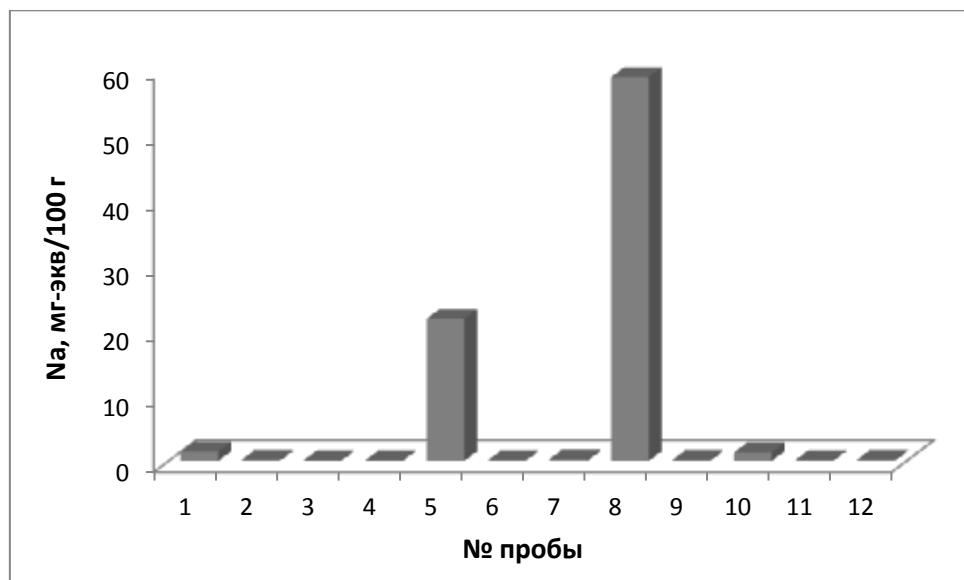


Рис. 131. Содержание водорастворимых ионов натрия (мг-экв/100 г) в почвах и ТПО в ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях и двучленных породах

Содержание водорастворимых ионов хлора было минимальным во вторичных почвах и ТПО, и только в солончаках достигало высоких показателей – до 81,4 мг-экв/100 г в солончаке вторичном хлоридном натриевом (рис. 132; приложение 9, табл. 5).

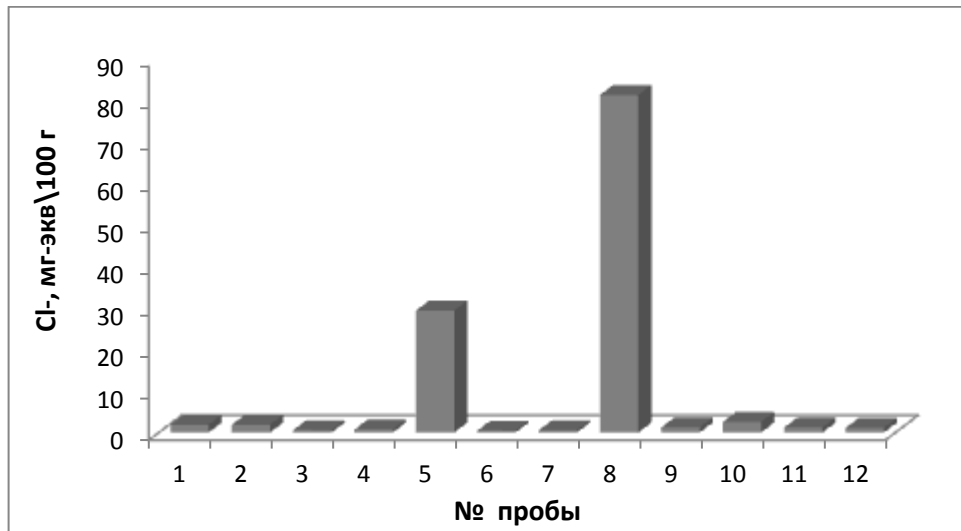


Рис. 132. Содержание водорастворимых ионов хлора (мг-экв\100 г) в почвах и ТПО в ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях и двучленных породах

Водорастворимые сульфаты присутствовали в минимальных количествах в литостратах, а максимальное содержание (29,4 мг-экв/100 г) характерно для солончака вторичного сульфатно-хлоридного натриево-кальциевого (рис. 133; приложение 9, табл. 5).

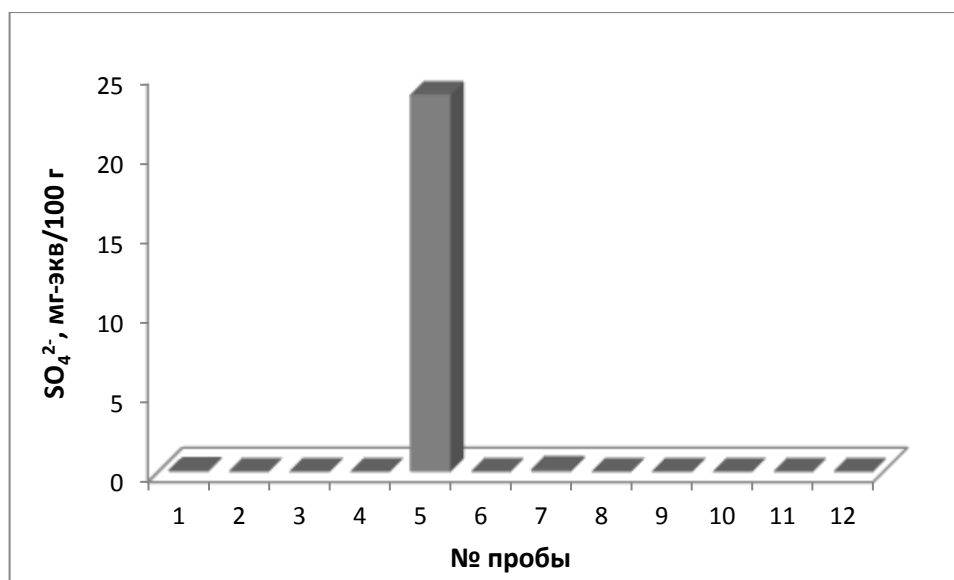


Рис. 133. Содержание водорастворимых сульфатов (SO_4^{2-} , мг-экв/100 г) в почвах и ТПО в ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях и двучленных породах

Активность каталазы в поверхностных почвенных слоях ТПК варьировала от 0,3 до 1,3 O_2 см³/г за 1 мин, таким образом, почвы бедны этим ферментом (рис. 134). Минимальное значение каталазной активности показал литостат остаточно-карбонатный, максимальные значения - серогумусовые почвы. Значения активности каталазы в почвах данного ТПК даже ниже, чем в псаммоземе (приложение 3, табл.).

Корреляционный анализ выявил сильную положительную связь активности фермента с содержанием органического углерода ($R = 0,99$), сильную отрицательную связь с актуальной кислотностью ($R = -0,97$).

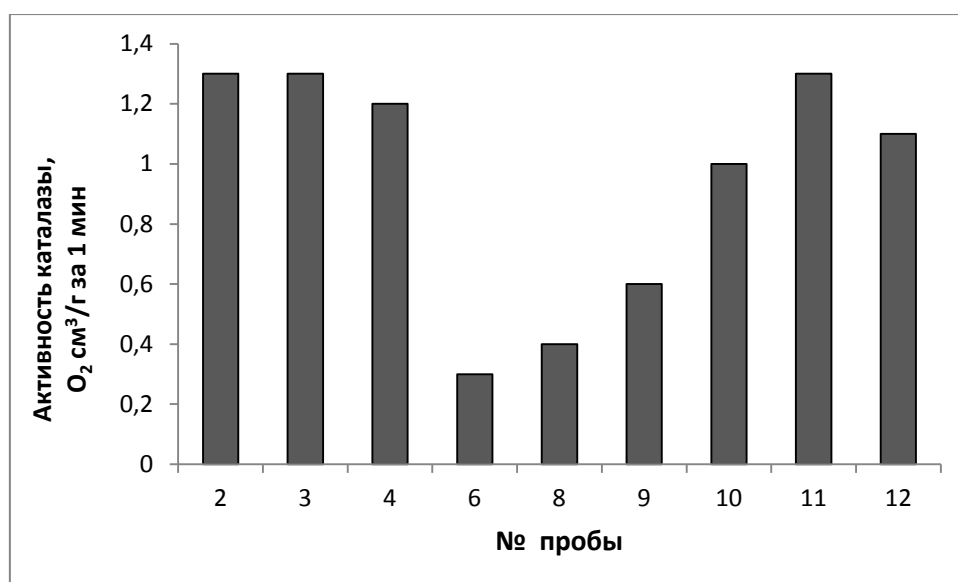


Рис. 134. Активность каталазы ($O_2 \text{ см}^3/\text{г за 1 мин}$) в почвах и ТПО в ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях и двучленных породах

Фитотестирование почв

В ТПК на древнеаллювиальных песчано-супесчаных породах токсичными (отсутствие всходов кресс-салата) были вторичные солончаки. Показатели состояния кресс-салата свидетельствовали об удовлетворительном экологическом состоянии литостатов глинистых и песчаных, а также серогумусовых супесчаных и суглинисто-глинистых почв (рис. 135; приложение 9, табл. 6). Хорошим экологическим состоянием характеризовалась серогумусовые суглинистые остаточно-карбонатные почвы.

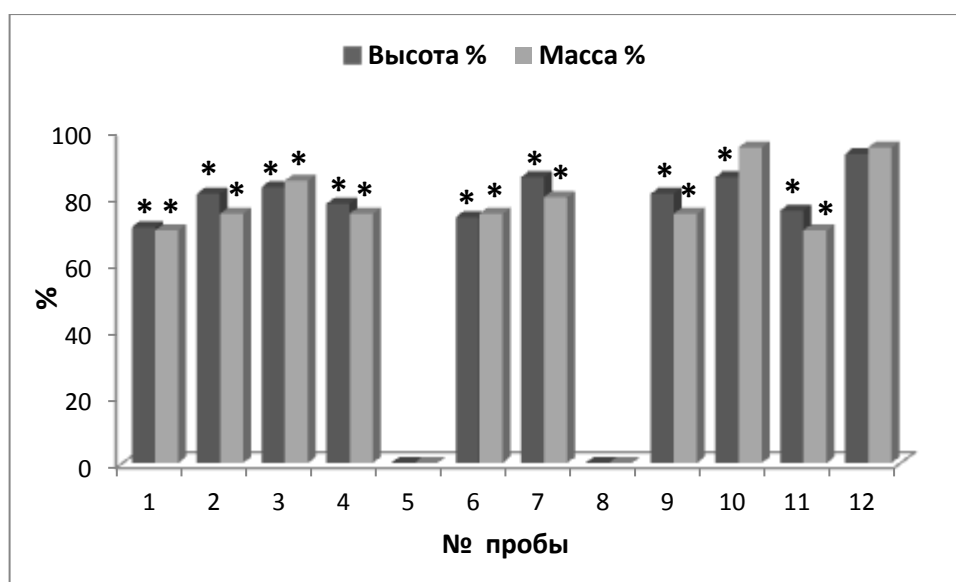


Рис. 135. Высота и масса тест-культуры, выращенной на почвах и ТПО ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях и двучленных породах, % от контроля: * - существенные различия

По редокс-активности растений токсичность почв и ТПО не выявлена (рис. 136; приложение 9, табл. 6).

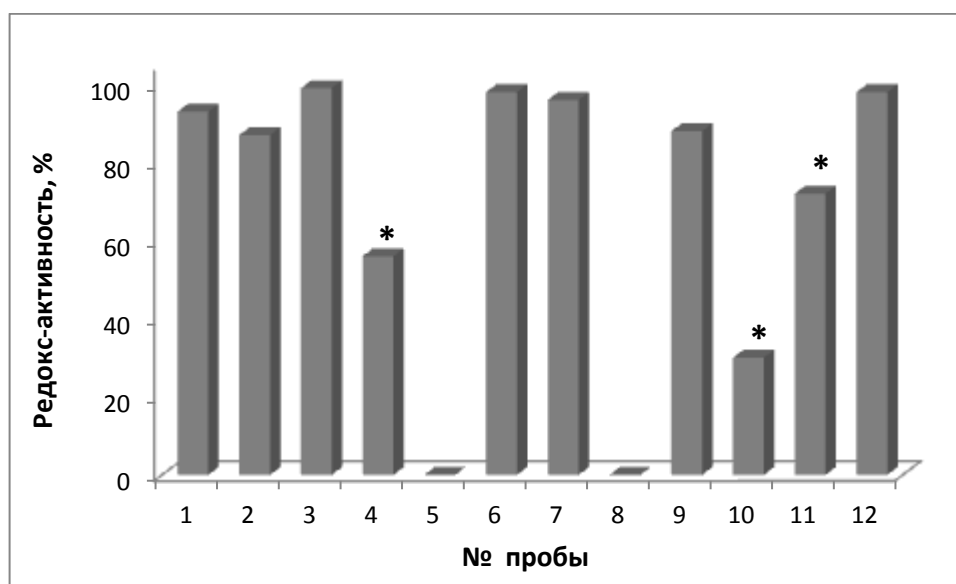


Рис. 136. Редокс-активность кресс-салата, выращенного на почвах и ТПО в ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях и двучленных породах, % от контроля: * - существенные различия

5.4. Состояние почв и техногенных поверхностных образований в технопедокомплексах на аллювиальных породах

Свойства почв и ТПО в ТПК

В поверхностных почвенных горизонтах ТПК на аллювиальных породах содержание органического углерода варьировало от очень низкого (0,9%) и до высокого (9,8%) уровня из-за природных особенностей комплекса аллювиальных почв (рис. 137; приложение 9, табл. 7). Максимальное количество органического углерода характерно для аллювиальной гумусовой глееватой хлоридной натриево-магнииево-кальциевой солончаковой почвы, минимальное значение – для солончака вторичного сульфатно-хлоридного натриевого.

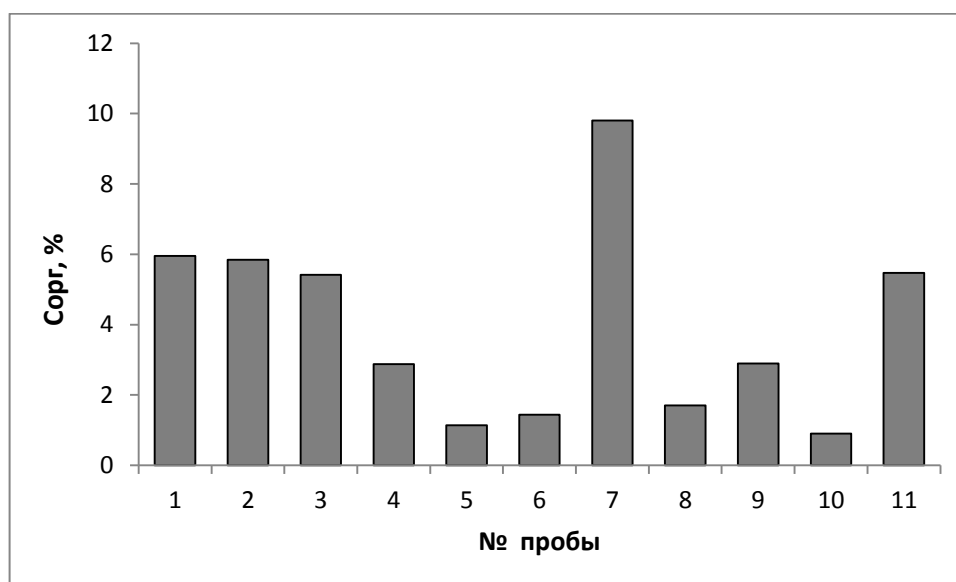


Рис. 137. Содержание органического углерода ($C_{орг}$, %) в почвах в ТПК на аллювиальных породах

Здесь и далее в данном ТПК: 1, 2 – солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый по аллювиальной перегнойно-глеевой суглинистой почве; 3 – аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная натриево-магнииево-кальциевая солончаковая почва; 4, 5 – солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый по аллювиальной гумусовой глеевой почве; 6 – аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная магнииево-кальциево-натриевая почва; 7 – аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная натриево-магнииево-кальциевая солончаковая почва; 8 – аллювиальная гумусовая хлоридная натриевая солончаковая почва; 9 – солончак вторичный сульфатно-хлоридный

натриевый по аллювиальной гумусовой глеевой почве; 10 – солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый по аллювиальной гумусовой глеевой почве; 11 – глеезем хлоридный натриевый солончаковый.

Реакция почвенной среды находилась в диапазоне от резко кислых и до слабощелочных значений: $pH_{вод}$ от 3,98 до 8,2, $pH_{сол}$ – от 3,51 до 7,59 (рис. 138; приложение 9, табл. 7). Около 50 % проб имели кислую реакцию, в том числе, сильно кислую, что характерно для глеезема хлоридного натриевого солончакового. Слабощелочную реакцию показал солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый по аллювиальной гумусовой глеевой почве.

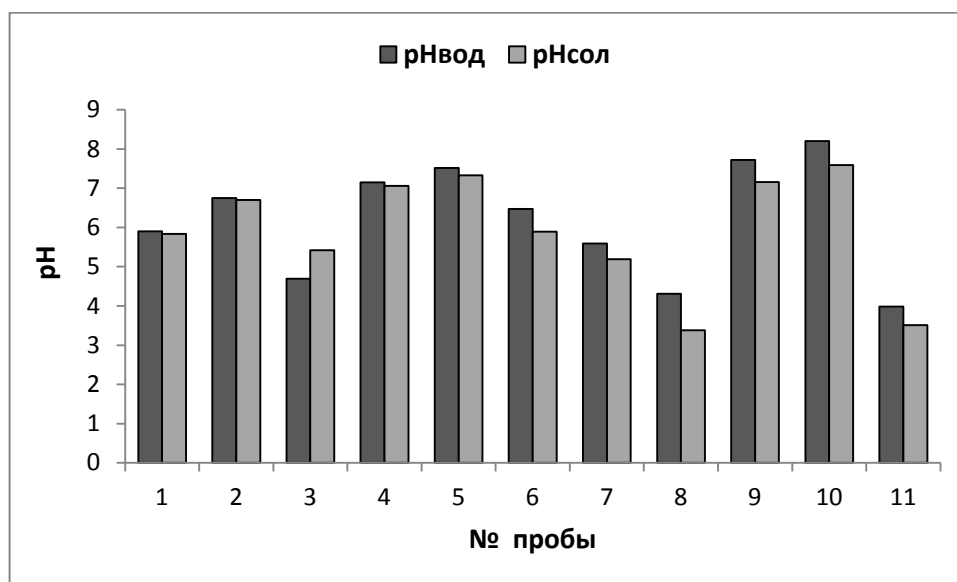


Рис. 138. Величина pH почв в ТПК на аллювиальных породах

Высокая изменчивость емкости поглощения верхних почвенных горизонтов обусловлена различием в количестве органического углерода и в гранулометрическом составе (рис. 139; приложение 9, табл. 7). Значения варьировали от 10,1 до 82,7 мг-экв/100 г почвы, что соответствует низкому уровню поглотительной способности и крайне высокому. Минимальная емкость поглощения выявлена в аллювиальной гумусовой глееватой хлоридной магниевно-кальциевно-натриевой почве, максимальная – в аллювиальной гумусовой глееватой хлоридной натриево-магниевно-кальциевой солончаковой почве.

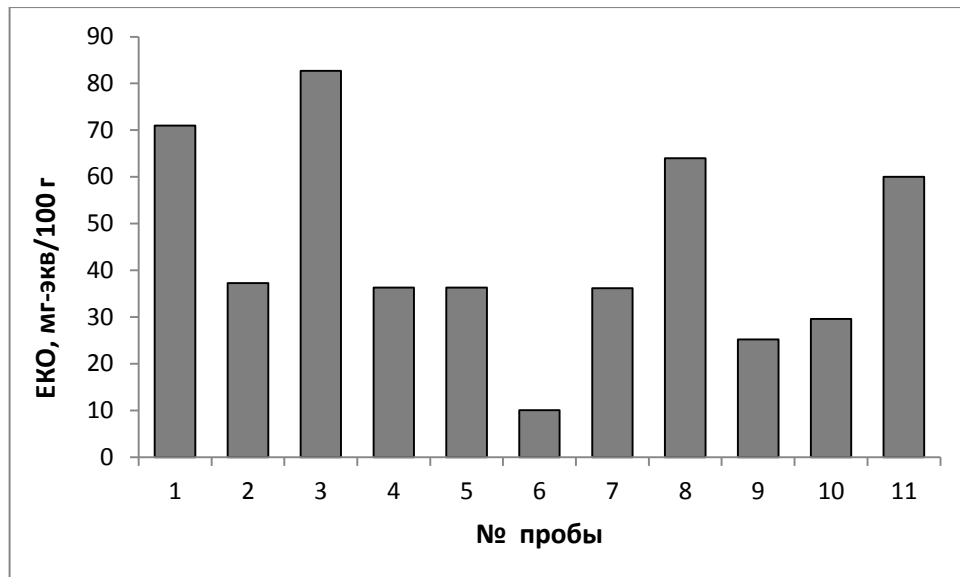


Рис. 139. Емкость катионного обмена (мг-экв/100 г почвы) в почвах в ТПК на аллювиальных породах

Содержание подвижных форм фосфора варьировало от 0,8 до 15,75 мг/100 г почвы (рис. 140; приложение 9, табл. 7), что указывает на низкую и повышенную обеспеченность фосфором.

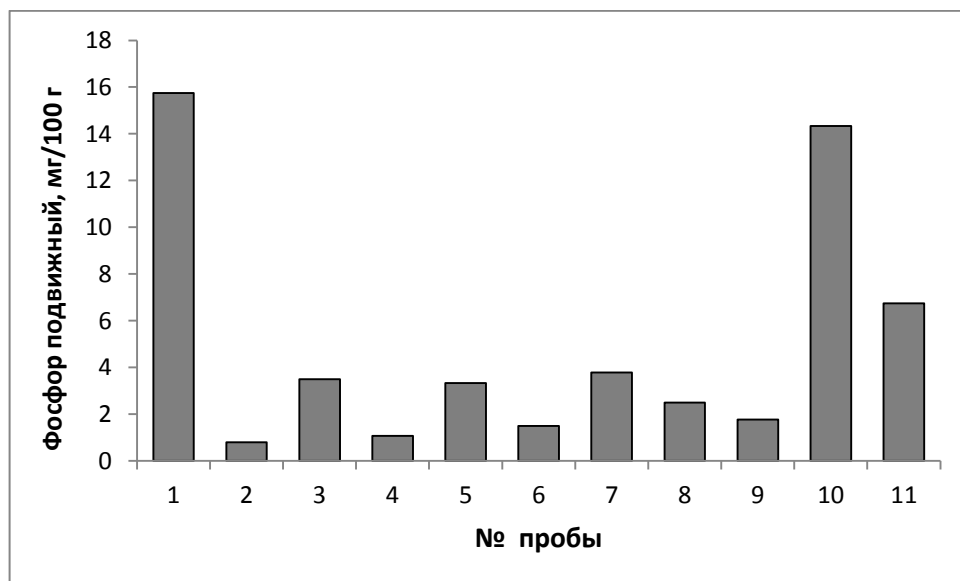


Рис. 140. Содержание подвижного фосфора (мг/100 г) в почвах в ТПК на аллювиальных породах

Содержание подвижных форм калия варьировало в широких пределах – от 9,5 до 550 мг/100 г почвы (рис. 141; приложение 9, табл. 7). Высокий уровень калия был установлен в засоленных почвах, максимальное значение

характерно для солончака вторичного сульфатно-хлоридного натриево-кальциевого по аллювиальной перегнойно-глеевой суглинистой почве. Минимальное количество подвижного калия в солончаке вторичном сульфатно-хлоридном натриевом по аллювиальной гумусовой глеевой почве.

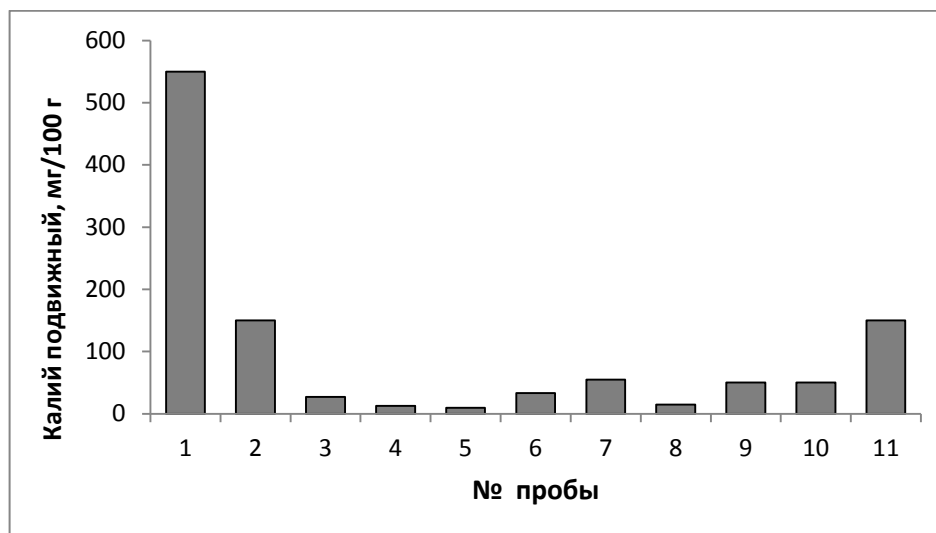


Рис. 141. Содержание подвижного калия (мг/100 г) в почвах в ТПК на аллювиальных породах

Содержание водорастворимого натрия варьировало от 0,12 мг-экв/100 г в аллювиальной гумусовой глееватой хлоридной магниевно-кальциево-натриевой почве и до 236,96 мг-экв/100 г у солончака вторичного сульфатно-хлоридного натриево-кальциевого по аллювиальной перегнойно-глеевой суглинистой почве (рис. 142; приложение 9, табл. 8).

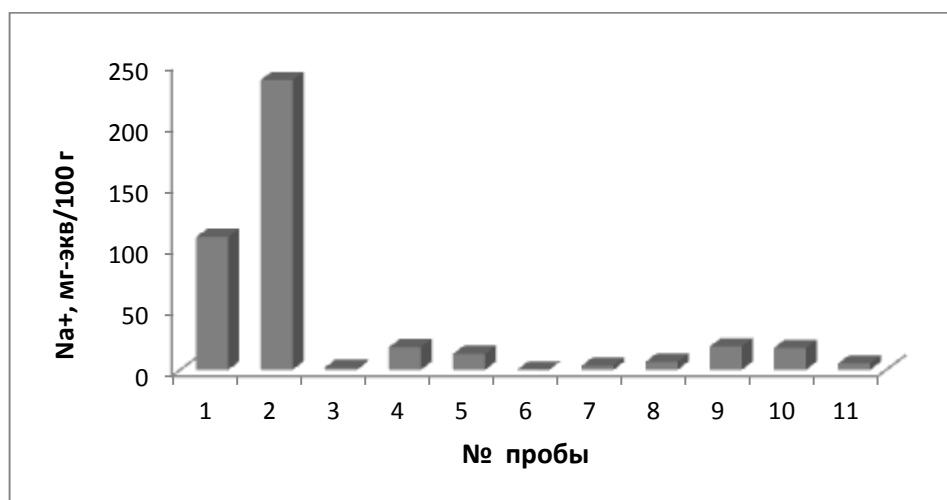


Рис. 142. Содержание водорастворимых ионов натрия (мг-экв/100 г) в почвах в ТПК на аллювиальных породах

Наибольшее содержание водорастворимых ионов хлора выявлено в солончаке вторичном сульфатно-хлоридном натриево-кальциевом по аллювиальной перегнойно-глеевой почве – 406,2 мг-экв/100 г. Для остальных почв характерен некоторый разброс значений в количестве этих ионов – от 0,57 до 18,33 мг-экв/100 г почвы (рис. 143; приложение 9, табл. 8).

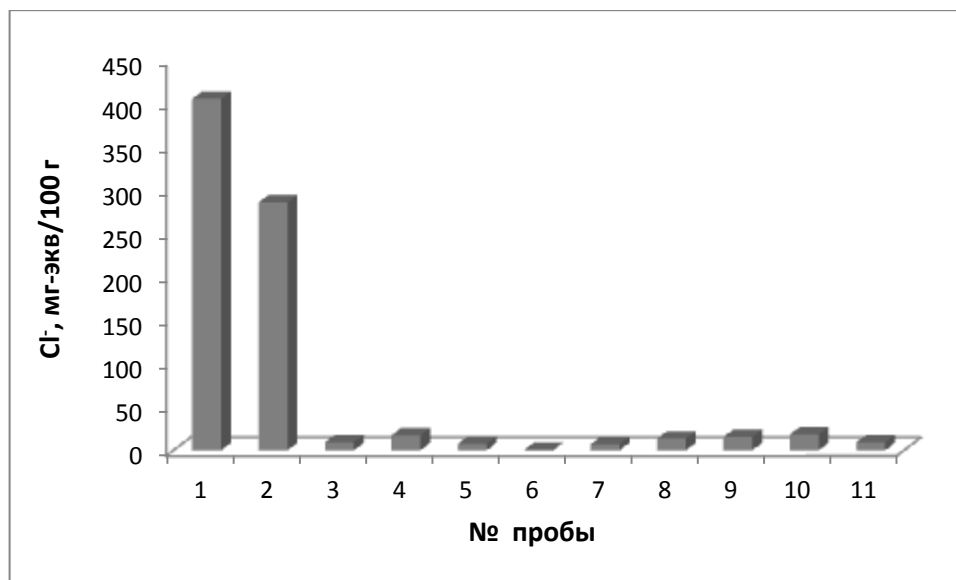


Рис. 143. Содержание водорастворимого хлора (Cl⁻, мг-экв/100 г) в почвах в ТПК на аллювиальных породах

Наибольшим содержанием водорастворимых сульфатов отличался также солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый по аллювиальной перегнойно-глеевой суглинистой почве – 169,9 мг-экв/100 г почвы (рис. 144) . Отсутствие сульфатов в водной вытяжке выявлено в 45% почв, в остальных пробах содержание сульфатов варьировало от 1,3 до 5,6 мг-экв/100 г почвы (приложение 9, табл. 8).

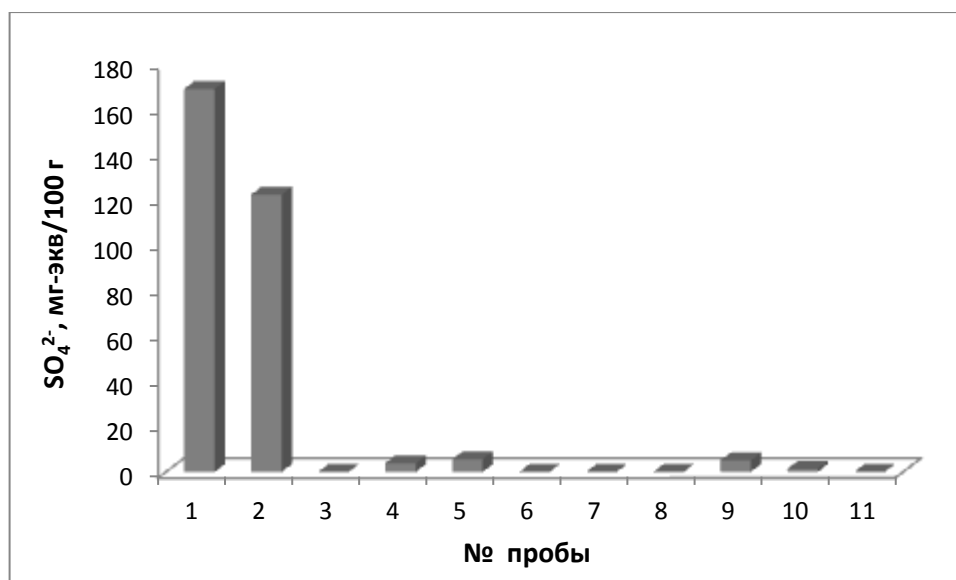


Рис. 144. Содержание водорастворимых сульфатов (SO_4^{2-} , мг-экв/100 г) в почвах в ТПК на аллювиальных породах

Активность каталазы в почвах данного ТПК варьировала от 0,3 до 4,5 O_2 см³/г за 1 мин (рис. 141). Минимальное значение активности каталазы характерно для солончака сульфатно-хлоридного натриевого, максимальное – для аллювиальной солончаковой почвы. Активность фермента у большинства почв ниже или соответствует каталазной активности в дерново-подзолистой почве и псаммоземе (приложение 3, табл.). Только активность в аллювиальной гумусовой глееватой хлоридной натриево-магниевой-кальциевой солончаковой почве достигает уровня содержания фермента в темно-серой почве.

Установлена сильная положительная связь активности каталазы с содержанием органического углерода в почвах ($R = 0,71$).

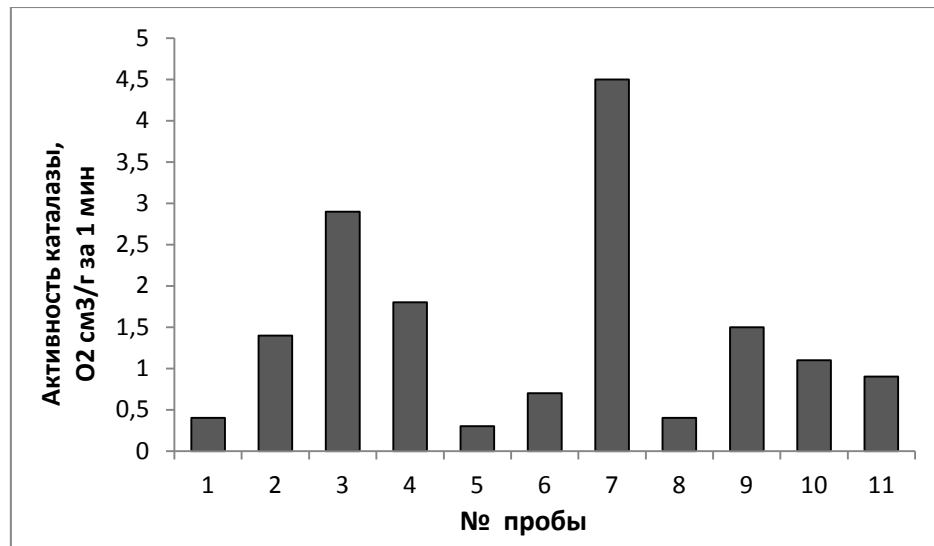


Рис. 141. Активность каталазы (O_2 см³/г за 1 мин) в почвах в ТПК на аллювиальных породах

Фитотестирование почв

Методом фитотестирования установлено экологически опасное состояние солончаковых почв и вторичных солончаков в ТПК на аллювиальных породах (рис. 142; приложение 9, табл. 9). Лишь у отдельных аллювиальных почв отмечено удовлетворительное экологическое состояние поверхностных горизонтов. Редокс-активность кресс-салата, выращенного на пробах этих почв, не показала реакцию на токсичность (рис. 143; приложение 9, табл. 9).

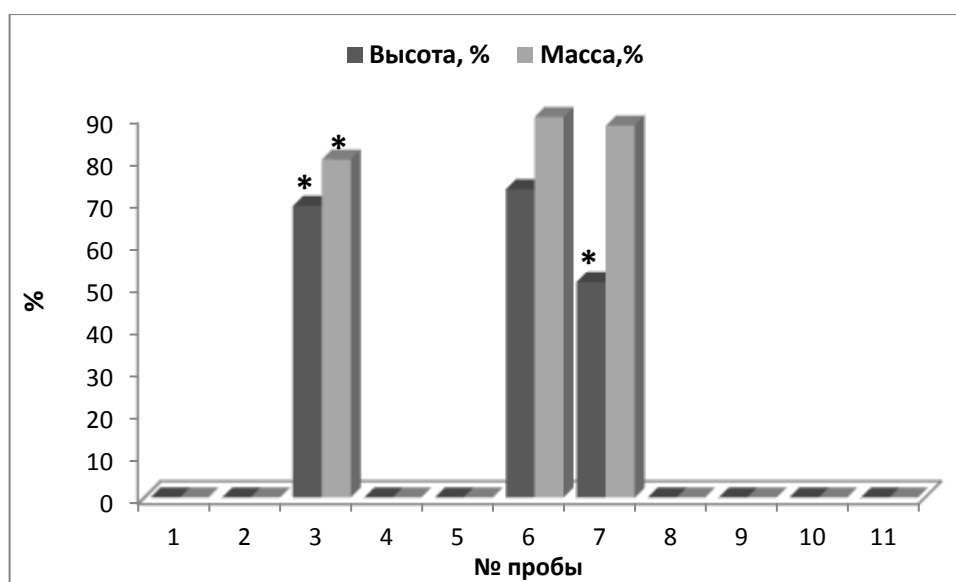


Рис. 142. Высота и масса тест-культуры, выращенной на почвах в ТПК на аллювиальных породах, % от контроля: * - существенные различия

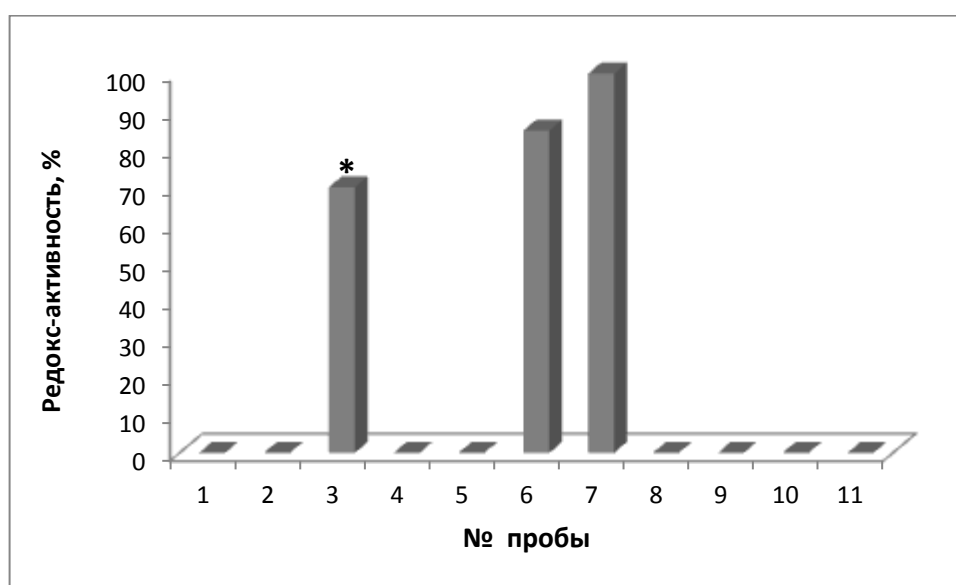


Рис. 143. Редокс-активность кресс-салата, выращенного на почвах в ТПК на аллювиальных породах, % от контроля: * - существенные различия

Анализ корреляционных зависимостей доказал отрицательное влияние показателей засоленности почв на высоту и массу тест-культуры (табл. 6); связи с агрохимическими свойствами были математически не достоверны (приложение 9, табл. 10).

Таблица 6

Коэффициенты корреляции между показателями состояния кресс-салата
и свойствами почв

Показатель	Высота	Масса
Калий подвижный	–0,54	–0,53
Cl [–] водорастворимый	–0,52	–0,51
SO ₄ ^{2–} водорастворимый	–0,52	–0,51
Ca ²⁺ водорастворимый	–0,52	–0,50
Mg ²⁺ водорастворимый	–0,52	–0,50
Na ⁺ водорастворимый	–0,50	–0,49
Сумма водорастворимых солей	–0,51	–0,50

Примечание. Существенные корреляционные связи при 95% уровне вероятности.

На основании материалов, изложенных в данной главе, были сделаны следующие выводы:

1. В ландшафтах водоразделов и камских террас с солеотвалами и шламохранилищами основными компонентами технопедокомплексов являются вторичные серогумусовые почвы, литостраты и абролиты разного гранулометрического состава, вторичные солончаки, а также почвы природного комплекса. Технопедокомплексы речных пойм на аллювиальных породах, находящиеся под влиянием соленых вод, включают аллювиальные почвы, в разной степени засоленные, и вторичные солончаки.

2. Поверхностные почвенные слои в ТПК на элювиально-делювиальных суглинках и элювии пермских пород характеризуются следующими свойствами: низким и средним содержанием органического вещества, реакцией среды от резко кислых и до нейтральных значений, от средней и до очень высокой поглотительной способностью; их обеспеченность подвижными фосфором и калием – от низкой и до высокой; обогащенность каталазой варьировала от очень низкой до средней. Вторичный солончак отличался накоплением хлоридов натрия и калия.

3. Поверхностные почвенные слои в ТПК на древнеаллювиальных песках, супесях и двучленных породах имели низкое и среднее содержание органического углерода, реакцию почвенного раствора – от слабокислых и до слабощелочных значений. Их поглощательная способность варьировала от низкой до высокой, обеспеченность подвижным фосфором – от низкой и до повышенной, а подвижного калия – от средней и до очень высокой. Солончаки вторичные отличились аккумуляцией не только хлоридных, но и сульфатных солей.

4. Фитотестированием установлено, что в ТПК на элювиально-делювиальных суглинках и элювии пермских пород, а также в ТПК на древнеаллювиальных песчано-супесчаных породах и двучленных отложениях хорошим и удовлетворительным экологическим состоянием характеризовались поверхностные слои вторичных серогумусовых почв и литостратов, а предельно токсичными были вторичные солончаки.

5. В верхних почвенных горизонтах ТПК на аллювиальных породах содержание органического углерода колебалось от очень низкого и до высокого, реакция почвенной среды – от резко кислых и до слабощелочных значений, поглощательная способность – от низкой и до крайне высокой; обеспеченность подвижным фосфором – от низкой и до повышенной, подвижным калием – от средней и до очень высокой. В солончаках и солончаковых почвах накопились хлориды натрия и калия, иногда присутствовали сульфатные соли.

6. В ТПК на аллювиальных породах удовлетворительным экологическим состоянием характеризовались незасоленные верхние горизонты аллювиальных почв. Солончаки отличились предельной токсичностью, что показало отсутствие всходов тест-культуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При тестировании почв и техногенных поверхностных образований Пермского края морфометрические показатели кресс-салата изменялись в зависимости от почвенных свойств (содержание гумуса, кислотнo-основные и обменные показатели, обеспеченность подвижными фосфатами и калием, подвижность некоторых тяжелых металлов, водорастворимые соли, активность каталазы). Высота и масса тест-культуры, а также редокс-активность характеризовали уровень биологической активности и токсичности почв и ТПО.

2. Основными компонентами урбопедокомплексов жилых районов города Перми являются урбостратоземы; формирование урбостратоземов торфяно-эутрофированных, квазиземов торфяных и компостно-гумусовых обусловлено отсыпкой низинного торфа на газоны и клумбы, придворовые территории.

3. В верхних почвенных слоях урбопедокомплексов, как правило, преобладала нейтрально-щелочная среда ($\text{pH}_{\text{вод}} = 6,7\text{--}8,3$); слабая щелочность обусловлена присутствием карбонатных включений. Благодаря отсыпке низинного торфа в «свежих» органогенных слоях сохранялась кислая среда; а также существенно возрастало количество органического углерода (до 10,3–27,3%) и емкость поглощения (до 56–81 мг-экв/100 г). Обеспеченность этих слоев подвижными фосфатами была преимущественно низкая и средняя, подвижным калием – средняя и высокая; активность каталазы преимущественно низкая, реже – средняя. Подвижность тяжелых металлов в условиях нейтрально-щелочной почвенной среды – низкая ($-\lg[\text{Cd}], -\lg[\text{Pb}], -\lg[\text{Cu}] > 6\text{--}7$)).

4. Некоторые особенности свойств поверхностных почвенных слоев в УПК на древнеаллювиальных песках (легкий гранулометрический состав, пониженная поглотительная способность и обеспеченность подвижным калием) унаследованы от почвообразующих песков.

5. Методом фитотестирования установлено преимущественно удовлетворительное экологическое состояние поверхностных почвенных слоев в урбопедокомплексах жилых районов. В пределах района относительно старой застройки биометрические показатели и редокс-активность растений показали неудовлетворительное состояние и токсичность почвенной среды.

6. Вблизи солеотвалов и шламохранилищ основными компонентами технопедокомплексов на элювиально-делювиальных суглинках, древнеаллювиальных и двучленных отложениях являются вторичные серогумусовые почвы, литостраты разного гранулометрического состава, вторичные солончаки. Технопедокомплексы на аллювиальных породах, находящиеся под влиянием соленых вод, включают аллювиальные почвы, в разной степени засоленные, и вторичные солончаки.

7. В технопедокомплексах поверхностные слои почв и ТПО характеризуются высокой контрастностью свойств: по содержанию органического углерода (0,9–9,8 %), подвижных фосфатов и калия, кислотнo-основным показателям ($\text{pH}_{\text{вод}}$ 4,0–8,2), емкости катионного обмена (2–83 мг-экв/100 г), активности каталазы и, особенно, по количеству водорастворимых хлоридов и сульфатов (сумма солей 0,1–39,0 %).

8. Фитотестирование показало, что в технопедокомплексах вне участков заметного накопления техногенных солей поверхностные почвенные слои почв и техногенных поверхностных образований имели хорошее и удовлетворительное экологическое состояние, однако вторичные солончаки отличились предельной токсичностью и опасным экологическим состоянием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамян С.А. Изменение ферментативной активности почв под влиянием естественных и антропогенных факторов // Почвоведение. 1992. № 7. С. 70–82.
2. Александрова А.Б. Геохимические особенности почв Казани // Материалы IV съезда Докучаев. общества почвоведов. Новосибирск: Наука – Центр, 2004. Кн. 2. С. 131.
3. Александрова А.Б. Перспективы развития Волжского региона: Материалы Всеросс. заочной конференции. Тверь: Изд-во ТГТУ, 2001. Вып. 3. С. 3.
4. Ананьева Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2003. 223с.
5. Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Орлинский Д.Г. Методические аспекты определения скорости субстрат-индуцированного дыхания почвенных микроорганизмов // Почвоведение. 1993. № 11. С. 72–77.
6. Ананьева Ю.С., Давыдов А.С. Экологическая оценка воздействия осадков сточных вод на почву по фитотестированию // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2009. № 8 (58). С. 38–40.
7. Андроханов В.А. Овсянникова С.В., Курачев В.М. Техноземы: свойства, режимы, функционирование. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. 200 с.
8. Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Методологические основы классификации почв мегаполисов на примере г. Санкт-Петербурга // Вестник СПбГУ. Сер. 3. 2013. Вып. 2. С. 115–122.
9. Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Классификация городских почв в системе Российской и Международной классификации почв // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 79. С. 53–72.

10. Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Принципы классификации почв городских территорий (на примере СанктПетербурга) // Доклад Всеросс. научной конференции “Геохимия ландшафтов и география почв” (к 100-летию М.А. Глазовской). М., 2012. С. 43–45.
11. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. Изд-во: МНУ, 1970. 488 с.
12. Артамонова В.С., Гаджиев И.М., Танасиенко А.А., Бортникова С.Б., Грищенко В.И. Эколого-микробиологические особенности токсигенности почв // Материалы IV съезда Докучаев. общества почвоведов. Новосибирск: Наука – Центр, 2004. Кн. 1. С. 27–29.
13. Артамонова В.С. Микробиологические особенности антропогенно преобразованных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 225 с.
14. Багдасарян А.С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ставрополь, 2005. 24 с.
15. Бакина Л.Г., Бардина Т.В., Маячкина Н.В. К методике фитотестирования техногенно загрязненных почв и грунтов // Материалы междунар. конференции «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения». Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2004. Ч. 1. С. 167–169.
16. Бардина Т.В., Чугунова М.В., Бардина В.И. Изучение токсичности почвенного покрова в зоне длительного влияния отходов производства серной кислоты контактными методами биотестирования // Материалы междунар. симпозиума «Биодиагностика и оценка качества природной среды». М.: ГЕОС, 2016. С. 10–15.
17. Бардина Т.В., Чугунова М.В., Бардина В.И. Изучение экотоксичности урбаноземов методами биотестирования // Живые и биокосные системы, 2013. Вып. 5. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-5/article-8.pdf> (дата обращения: 13.02.2018).

18. Борисевич Д.В. Рельеф и геологическое строение // Урал и Приуралье. М., 1968. С. 19–70.
19. Брагина П. С., Герасимова М. И. Техногенные поверхностные образования на отвалах и хвостохранилищах в Кемеровской области: опыт классификации // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2017. Вып. 89. С. 90–103.
20. Быков В.Н., Димухаметов Д.М., Димухаметов М.Ш. Эколого-геологическая обстановка города. Пермь, 2001. 101 с.
21. Вальков В.Ф., Елисеева Н.В., Имгрунт И.И., Казеев К.Ш., Колесников С. И. Справочник по оценке почв. Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2004. 236 с.
22. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Экология почв: Учебное пособие для студентов вузов. Часть 3. Загрязнение почв. Ростов-на-Дону: УПЛ РГУ, 2004 б. 54 с.
23. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Почвоведение: учебник для вузов. Москва: ИКЦ «МарТ», Ростов-на-Дону: Издательский центр «МарТ», 2004. 496 с.
24. Вальков В.Ф., Колесников С.И., Казеев К.Ш. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на фитотоксичность чернозема // Агрохимия. 1997. № 6. С. 50—55.
25. Васильев А.А., Чащин А.Н. Тяжелые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загрязнения. Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. 197 с.
26. Водяницкий Ю. Н. Органическое вещество в городских почвах (обзор литературы) // Почвоведение. 2015. № 8. С. 29–35.
27. Вологжанина Т.В. Серые лесные почвы зоны широколиственных лесов Русской равнины. Пермь: ПГСХА, 2005. 455 с.
28. Волокиткин Н.П. Агроэкологические аспекты мелиорации черноземов // Материалы междунар. научной конференции «Современное

состояние черноземов». Ростов-на-Дону. Изд-во Южного Федерального университета, 2013. С. 66–68.

29. Воронина Л.П. Экологические функции комплекса агрохимических средств и регуляторов роста растений в агроценозах: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2009. 18 с.

30. Ворончихина Е.А., Запоров А.Ю. Экологические аспекты загрязнения среды тяжелыми металлами. Сборник научных трудов «Вопросы физической географии и геоэкологии Урала». Пермь: ПГУ, 1998. С. 139–147.

31. Гавриленко Е. Г., Ананьева Н. Д., Макаров О. А. Оценка качества почв разных экосистем (на примере Серпуховского и Подольского районов Московской области) // Почвоведение. 2013. № 12. С. 1505–1515.

32. Галстян А.Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван: Айастан, 1974. 275 с.

33. Гарипова Р.Ф., Калиев А.Ж. Цитогенетический анализ в мониторинге почв при техногенном загрязнении микроэлементами // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. №4. 94–97.

34. Гарипова Р.Ф., Калиев А.Ж. Биотестирование водных вытяжек почв подвергшихся воздействию выбросов газохимического Оренбургского комплекса // Вестник Оренбургского государственного университета. 2004. №9. С. 90—92.

35. Гафурова Л.А., Кадирова Д.А., Саидова М.Э., Рахматуллаев А.Ю., Эргашева О.Х., Сайдалиев Б. Некоторые аспекты биоиндикации эродированных почв предгорий и низкогорий Туркестанского хребта. Тезисы докладов междунар. конференции. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. С. 43.

36. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Учебное пособие. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.

37. Гиляров М.С. Зоологический метод диагностики почв. М.: Изд-во «Наука». 1965. 280 с.

38. Гиляров М.С., Криволуцкий Д.А. Жизнь в почве. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1995, 240 с.
39. Глазовская М. А. Методологические основы оценки эколого-геохимической оценки почв к техногенным воздействиям: методическое пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 102 с.
40. Горбовская А.Д. Оценка устойчивости буферных систем почв к факторам воздействия: учебное пособие. СПб.: С-Пб. гос. ун-та, 2006. 44 с.
41. Государственный стандарт ГОСТ Р ИСО 22030:2005. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. Москва. Стандартиформ. 2010.
(Источник:<http://www.complexdoc.ru/text/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2%20%D0%A0%20%D0%98%D0%A1%D0%9E%2022030-2009/1>. Дата обращения: 08.02.2018).
42. Гришина Л.А. Гумусообразование и гумусное состояние почв. М.: МГУ, 1986. 243 с.
43. Груздев М.В. Городские почвы, их особенности и опыт картографирования (на примере Ярославля) // Изв. АН СССР Серия география. 1991. № 3. С. 27–40.
44. Гужева А.Ф., Доскач А.Г. и др. Геоморфологическое районирование СССР. Изд. СОПС АН СССР, 1947.
45. Гулевич Е.В. Особенности распределения тяжелых металлов в природных компонентах урбозкосистем города Иркутска // Почвы – национальное достояние России: Материалы IV съезда Докучаев. общества почвоведов. Новосибирск: Наука-Центр, 2004. Кн. 2. С. 285.
46. Дабахов М.В., Асташина Е.В. Особенности гумусового состояния почв промышленного города // Почвы – национальное достояние России: Материалы IV съезда Докучаев. общества почвоведов. Новосибирск: Наука-Центр, 2004. Кн. 2. С. 45.
47. Дабахов М.В., Титова В. И. Некоторые аспекты техногенной трансформации городских почв // Устойчивость почв к естественным и

антропогенным воздействиям: тезисы докладов междунар. конференции. М.: РАСХНИЛ, 2002. С. 34.

48. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв: учебник. М.: Изд-во Моск. ун-та; Наука, 2006. 364 с.

49. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы. М.: МИРОС МАИК Наука / Интерпериодика, 2000. 185 с.

50. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). М.: Наука, 1990. 261 с.

51. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2013 году». Пермь, 2014. 264 с.

52. Духовский П., Юкнис Р., Бразайтите А., Жукаускайте И. Реакция растений на комплексное воздействие природных и антропогенных стрессоров // Физиология растений. 2003. Т.50. № 2. С. 165–173.

53. Дымов А.А., Каверин Д.А., Габов Д. Н. Свойства почв и почвоподобных тел г. Воркута // Почвоведение. 2013. № 2. С. 240–248

54. Дьяконова К.В. Блок «органическое вещество» в моделях почвенного плодородия. Научный труд Почвенного института «Расширенное воспроизводство плодородия почв в интенсивном земледелии». М.: 1988. С. 80–86.

55. Еремченко О.З., Усламина Н.Г., Москвина Н.В. Роль почвоведения в решении экологических проблем города // Перспективы развития естественных наук в высшей школе: труды междунар. научной конференции. Пермь, 2001. Т. 3. С. 42–45.

56. Еремченко О.З., Лымарь О.А. Почвенно-экологические условия зоны солеотвалов и адаптация к ним растений // Экология. 2007. №1. С. 18–23.

57. Еремченко О.З., Митракова Н.В. Способ оценки биологической активности и токсичности почв и техногенных почвогрунтов. Патент РФ №

2620555. 2016.

58. Еремченко О.З., Митракова Н.В. Фитотестирование почв и техногенных поверхностных образований в урбанизированных ландшафтах // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2016. Вып. 1. С. 60–67.

59. Еремченко О.З., Митракова Н.В., Шестаков И.Е. Природно-техногенная организация почвенного покрова территории воздействия солеотвалов и шламохранилищ в Соликамско-Березниковском экономическом районе // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2017. Вып.3. С. 311–320.

60. Еремченко О.З., Москвина Н.В. Свойства почв и техногенных поверхностных образований в районах многоэтажной застройки г. Пермь // Почвоведение. 2005. № 7. С. 782–789.

61. Еремченко О.З., Филькин Т.Г., Шестаков И.Е. Редкие и исчезающие почвы Пермского края. Пермь, 2010. 92 с.

62. Еремченко О.З., Четина О.А., Кусакина М.Г., Шестаков И.Е. Техногенные поверхностные образования зоны солеотвалов и адаптация к ним растений: монография Пермского госуд. национ. исслед. ун-та. Пермь, 2013. 148 с.

63. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В. Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья. Пермь, 2016. 252 с.

64. Етеревская Л.В. Почвообразование и рекультивация земель в техногенных ландшафтах Украины: автореферат дисс. докт. с.-х. наук, Харьков, 1989.

65. Жарикова Е.А. Почвы Владивостока: основные характеристики и свойства // Вестник ДВО РАН. 2012. № 3. С. 67–73.

66. Заболотских В.В., Васильев А.В., Танких С.Н. Экспресс-диагностика токсичности почв, загрязненных нефтепродуктами // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. №1(3). С. 734–738.

67. Замотаев И.В., Белобров В.П. Классификация почв и почвоподобных образований футбольных полей // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 79. С. 91–110.
68. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48–54.
69. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв: учебник. М.: Изд-во МГУ, 2005. 445 с.
70. Земляницкий Л.Т., Полтавская И.А., Желдакова Г.Г. Подготовка городских почво-грунтов для озеленения. М., 1962. 30 с.
71. Зуев В.С. Роль дисперсности в становлении и развитии городских почв // Почвы – национальное достояние России: Материалы IV съезда Докучаев. общества почвоведов. Новосибирск: Наука-Центр, 2004. Кн. 2. С. 552.
72. Зуев Е.А. Влияние солей тяжелых металлов на биологические показатели злаков: автореферат ...канд. биол. наук. Ставрополь, 2002. 23с.
73. Иванова Л.А., Котельникова В.В., Быкова А.Е. Физико-химическая трансформация минерала вермикулита в субстрат для выращивания растений // Вестник МГТУ. 2006. Т. 9. № 5. С. 883–889.
74. Ивашкина И.В., Кочуров Б.И. Урбодиагностика и сбалансированное городское природопользование: перспективные научные направления в географии и геоэкологии // Экология урбанизированных территорий. 2011. № 3. С. 6–11.
75. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука, 1991. 149 с.
76. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение: экологический аспект // Почвы – национальное достояние России: Материалы IV съезда Докучаев. общества почвоведов. Новосибирск: Наука-Центр, 2004. Кн. 1. С. 271–273.

77. Ильин В. Б., Сысоев А. И. и др. К экологической обстановке в Новосибирске: ТМ в почвах и огородных культурах // Агрохимия. 1997. № 3. С. 34–39.
78. Ильин Ю.М., Семенова М.В., Хаптухаева Н.Н. Влияние антропогенных факторов на численность и структуру сообщества беспозвоночных аллювиальной луговой почвы Западного Забайкалья // Вестник КрасГАУ. 2017. №9. С. 108–115.
79. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 233 с.
80. Кадулин М.С., Копчик Г.Н. Эмиссия CO₂ почвами в зоне влияния горно-металлургического комбината “Североникель” в Кольской субарктике // Почвоведение. 2013. №11. С. 1387–1396.
81. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2003. 216 с.
82. Калманова В.Б., Матюшкина Л.А. Систематика, диагностика и картографирование городских почв юга Дальнего Востока (на примере г. Биробиджан, Еврейская автономная область // Вестник ДВО РАН. 2013. № 5 С. 97–104.
83. Каменщикова В.И. Экологическое состояние и устойчивость почв таежно-лесной зоны к антропогенным воздействиям // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2011. Вып. 1. С 64–67.
84. Каменщикова В.И., Федотова О.А. Влияние тяжелых металлов на биологическую активность подзолистой почвы // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2004. Вып. 2. С 163–165.
85. Капралова О.А. Влияние урбанизации на эколого-биологические свойства почв г. Ростова-на-Дону // Инженерный Вестник Дона. 2011. С. 326–331. № 4. Том 18.

86. Карта почвенно-экологического картографирования Восточно-Европейской равнины. М 1:2500000 / под ред. Г.В. Добровольского, И.С. Урусевской. М., 1997.

87. Карта четвертичных отложений Пермской области. М 1:500 000 / составитель Б.К. Ушков. Пермь, 2000.

88. Классификация и диагностика почв России / под ред. Л.Л. Шишова, В.Д. Тонконогова, И.И. Лебедевой, М.И. Герасимовой. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

89. Ковалева Е.И., Николаенко М.Г. Макаров А.О., Макаров А.А. Оценка нефтезагрязнения бурых лесных почв острова Сахалин с использованием метода фитотестирования // Материалы V междунар. конференции Томск: Издательский Дом Томского гос. ун-та, 2015. С 210–213.

90. Ковда В.А., Розанов Б.Г., Белицина Г.Д., Васильевская В.Д., Гришина Л.А., Евдокимова Т.И., Зборищук Н.Г., Иванов В.В., Левин Ф.И., Николаева С.А., Самойлова Е.М., Тихомирова Ф.А. Почвоведение. Ч. 1. М.: Высш. школа, 1988. 400 с.

91. Когут Б.М. Влияние длительного сельскохозяйственного использования на гумусное состояние чернозема типичного // Органическое вещество пахотных почв. М.: 1987. С 118–126

92. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Биоэкологические принципы мониторинга и нормирования загрязнения почв. Ростов-на-Дону: Изд-во ЦВВР, 2001б. 64 с.

93. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия в черноземе обыкновенном // Агрохимия. 2001а. № 9. С. 54–59.

94. Колесников С.И., Азнаурьян Д.К., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Устойчивость биологических свойств почв юга России к нефтяному загрязнению // Экология. 2010. №5. С. 357–364.

95. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Татосян М.Л., Вальков В.Ф. Влияние загрязнения нефтью и нефтепродуктами на биологическое состояние чернозема обыкновенного // Почвоведение. 2006. № 5. С. 616–620.
96. Колесников С.И., Спивакова Н.А., Казеев К.Ш. Влияние модельного загрязнения Cr, Cu, Ni, Pb на биологические свойства почв сухих степей и полупустынь юга России // Почвоведение. 2011. № 9. С. 1094–1101.
97. Коротаев Н.Я. Почвы Пермской области. Пермь, 1962. 278 с.
98. Кретинин В.М. Систематика почв и грунтов города Волгограда // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 3 (35). С. 1–3.
99. Криволицкий Д.А. Почвенная фауна в экологическом контроле. М. Наука, 1994, 270 с.
100. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. 429 с.
101. Кузина А.А., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В. Влияние загрязнения тяжелыми металлами и нефтью на фитотоксичность почв черноморского побережья Кавказа // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2016. № 2. С. 68–71.
102. Кузнецов А.Е., Трутаева Н.Н., Проценко Е.П., Прусаченко А.В., Проценко А.А. Проблемы фитотестирования малоопасных отходов сахарного производства // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 6. С. 53–56.
103. Купревич В.Ф. Почвенная энзимология // Научные труды. Т. 4. Минск: Наука и Техника. 1974. 404 с.
104. Лебедев Г.В. Некоторые вопросы геологического строения территории г. Перми и ее окрестностей // Моделирование геологических систем и процессов: материалы региональной конференции. Пермь, 1996. С. 21–23.

105. Лебедева И.И., Герасимова М.И. Возможности включения почв и почвообразующих пород Москвы в общую классификационную систему почв России // Почвоведение. 2011. № 5. С. 624–628.

106. Лискова М.Ю. Негативное воздействие, оказываемое на окружающую среду предприятиями по добыче и обогащению калийно-магниевых солей // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2017. Т.16, №1. С.82–88.

107. Лисовицкая О.В., Терехова В.А. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения // Доклады по экологическому почвоведению. 2010. № 1. Вып. 13. С. 1–18.

108. Лобачев Ю.Ю., Подольский А.Л. Экологический мониторинг почв пригородного природного парка. Экологические проблемы промышленных городов: сборник научных трудов по материалам 8-й Международной научно-практической конференции. Саратов. Изд-во СГТУ, 2017 г. С 165–169.

109. Лузина Е.В., Демакина К.И. Техногенное засоление и подщелачивание почвогрунтов, адаптация к ним растений // Материалы по изучению русских почв. Вып. 8 (35): Сборник научных докладов. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2014. С. 251–257.

110. Мазур Т.А. Геологические экскурсии по окрестностям города Молотова. Молотов: Молотовское книжное изд-во, 1955. 76 с.

111. Макаров О.А., Макаров А.А. Подходы к оценке риска химического загрязнения городских почв // Почвоведение. 2016. № 9. С. 1147–1156.

112. Марцинкявичене А., Богужас В., Балните С., Пупалене Р., Величка Р. Влияние севооборотов, промежуточных посевов и органических удобрений на ферментативную активность почвы и содержание гумуса в органическом земледелии // Почвоведение. 2013. № 2. С. 219–225.

113. Масленникова И. Л., Кузнецова М. В., Лаптева А. К., Шерстобитова Н. П., Шишкин М. А. Эколого-химическое обследование

почвенного покрова жилой зоны г. Перми. Метериалы научной конференции «История и методология физиолого-биохимических и почвенных исследований». Пермский. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2017. С. 145–149.

114. Матинян Н.Н., Бахматова К.А., Шешукова А.А. Почвы бывшей усадьбы Шереметьевых (Санкт-Петербург, наб. р. Фонтанки 34) // Вестн. СПбГУ. 2008. Сер. 3. Вып. 2. С. 91–100.

115. Матюшкина Л.А. Картографическое отображение состояния экологических функций городских почв (на примере городов Приамурья) // Материалы международ. научной конференции «Ресурсный потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности России». СПб.: Изд. дом СПб. гос. ун-та, 2011. С. 287–289.

116. Махкамова Д.Ю., Эргашева О.Х. Биологическая активность гипсоносных почв сероземного пояса. Тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Часть II. Москва-Белгород: Издательский дом «Белгород», 2016. С 123–124.

117. Маячкина Н.В., Чугунова М. В. Особенности биотестирования почв с целью их экотоксикологической оценки // Вестник Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. 2009. № 1. С. 84–93.

118. Мелехова О.П., Сарапульцева Е.И., Евсеева Т. И. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. 2-е изд., испр. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 228 с.

119. Методические рекомендации (МР 2.1.7.2297-07) «Обоснование класса отходов производства и потребления по фитотоксичности». 2007. (Источник: https://znaytovar.ru/gost/2/MR_217229707_Obosnovanie_klass.html. Дата обращения: 08.02.2018).

120. Методические рекомендации по обследованию и картированию почвенного покрова по уровням загрязненности промышленными выбросами. М., 1987. 26 с.

121. Методические рекомендации по оценке загрязненности городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами. М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 1999. 32 с.
122. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
123. Миноранский В.А. Видовое разнообразие фауны Восточно-Европейских степей и проблемы его сохранения // Научная мысль Кавказа. 1996. №1. С. 47–54.
124. Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014 (WRB). Научные редакторы перевода: М.И. Герасимова, П.В. Красильников. ФАО и МГУ. 2017. 204 с.
125. Митракова Н.В., Шестаков И.Е. Исследование устойчивости темно-серых почв Пермского края методом биотестирования при загрязнении почв тяжелыми металлами // Материалы междунар. школы-семинара молодых ученых. Пермь, 2015. С. 143–147.
126. Назаренко Н.Н., Корецкая И.И., Свистова И.Д. Биоиндикация почвы транспортных зон г. Воронежа // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2015. № 1. С. 46–50.
127. Назаров Н. Н. Классификация ландшафтов Пермской области // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. Пермь, 1996. С. 4–10.
128. Назаров Н.Н. География Пермского края. Ч.1. Природная (физическая) география: учебное пособие, 2-е изд., перераб. и доп. Пермь, 2011. Ч.1. 139 с.
129. Назаров Н.Н. География Пермского края: учебное пособие / Перм. ун-т. Пермь, 2006. Ч. I. Природная (физическая) география. 139 с.
130. Наквасина Е.Н., Попова Л.Ф., Пермогорская Ю.М., Калинина О.Ю. Состояние и свойства почв Архангельска // Почвы – национальное достояние России: Материалы IV съезда Докучаев. общества почвоведов. Новосибирск: Наука-Центр, 2004. Кн. 2. С. 300.

131. Николаева О.В., Терехова В.А. Совершенствование лабораторного фитотестирования для экотоксикологической оценки почв // Почвоведение. 2017. № 9. С. 1141–1152.
132. Овеснов С.А. Ботанико-географическое районирование Пермской области // Вестник Пермского университета. 2000. Вып. 2: Биология. С. 13–21.
133. Овеснов С.А. Конспект флоры Пермской области. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 1997. 252 с.
134. Овеснов С.А. Местная флора Пермского края и ее анализ, учебное пособие по спецкурсу. Пермь, 2009. 171.
135. Оленев А.М., Горчаковский П.Л. Природа // Российская Федерация: Урал. М., 1969. С. 19–70.
136. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Садовникова Л.К., Фридланд Е.В. Использование группового состава гумуса и некоторых биохимических показателей для диагностики почв // Почвоведение. 1979. № 4. С. 10–22.
137. Пермская область: отрасли, регионы, города: учебно-методический материал. Пермь, 1997. С. 93.
138. Пилецкая О.А., Прокопчук В.Ф. Оценка потенциальной биологической активности черноземовидной почвы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 9 (119). С. 41–45.
139. Полевая практика по почвоведению: методическое пособие. Под ред. Еремченко О.З., Кайгородов Р.В., Москвина Н.В. Пермь: Изд-во ПГУ, 2005. 46 с.
140. Попков С.В. Некоторые физико-химические показатели почв Петрозаводска // Почвы – национальное достояние России: Материалы IV съезда Докучаев. общества почвоведов. Новосибирск: Наука-Центр, 2004. Кн. 2. С. 200.
141. Почва, город, экология / Под ред. Добровольского Г.В. М.: Фонд “За экономическую грамотность”, 1997. 320 с.
142. Почвенная карта Пермской области. М 1:700 000. 1989.

143. Практикум по физиологии растений: учебное пособие для студентов вузов: под ред. В.Б. Иванова. М.: Академия, 2004. 144 с.
144. Практикум по физиологии растений; под ред. проф. И.И. Гунара. М.: Колос, 1972. С. 103–107.
145. Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н., Жарикова Е.А., Матинян Н.Н., Наквасина Е.Н., Сивцева Н.Е. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1155–1164
146. Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию // Почвоведение. 2011. № 5. С.611–623.
147. Пуртова Л.Н., Костенков Н.М., Семаль В.А., Комачкова И.В. Эмиссия углекислого газа из почв природных и антропогенных ландшафтов юга приморья // Фундаментальные исследования. Биологические науки. 2013. №1. С. 585–589.
148. Романенко В.Н. Почвенная зоология: учебное пособие. Томск: Томский государственный университет, 2013. 196 с.
149. Русанов А.М., Воеводина Т.С., Новоженин А.В., Кириллова Н.М. Фитоиндикация загрязнения почв придорожных территорий г. Оренбурга // Материалы V междунар. научной конференции «Отражение био-, гео-, антропосферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове». Томск, 2015. С. 242–245.
150. Салихова Е., Савостина О.А. О деградации почвенного покрова в условиях Калининграда // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тезисы докладов междунар. конференции. М.: РАСХНИЛ, 2002. С. 441.
151. Сафроничский П.А. Геологическое строение // Пермская область. Пермь, 1959. С. 19–29.

152. Свиренске А. Микробиологические и биохимические показатели при оценке антропогенного воздействия на почвы // Почвоведение. 2003. №2. С. 202–210.
153. Свистова И.Д., Талалайко Н.Н., Щербакова А.П. Микробиологическая индикация урбаноземов г. Воронежа // Вестник ВГУ. Серия: Химия, биология, фармация. 2003. № 2. С. 175—180.
154. Селивановская С.Ю., Галицкая П.Ю. Оценка токсичности почв с использованием контактного метода биотестирования // Токсикологический вестник. 2006. №4. С. 12–15.
155. Селивановская С.Ю., Латыпова В.З. Создание тест-системы для оценки токсичности многокомпонентных образований, размещаемых в природной среде // Экология. 2004. №1. С. 21–25.
156. Серегин И.В., Иванов В.Б. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // Физиология растений. 2001. Т. 48. № 4. С. 606–630.
157. Смагин А.В., Шоба С.А., Макаров О.А. Экологическая оценка почвенных ресурсов и технологии их воспроизводства (на примере г. Москва). М.: Изд-во Моск. ун-та, 2008. 360 с.
158. Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: Гуманитарные технологии, 2004. С. 50–54.
159. Солнцева Н.П., Герасимова М.И., Рубилина Н.Е. Морфогенетический анализ техногенно-преобразованных почв // Почвоведение. №8. 1990. С. 124–129.
160. Солнцева Н.П. Геохимическая устойчивость природных систем к техногенным нагрузкам (принципы и методы изучения, критерии прогноза) // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М., 1982. С. 181–216.
161. Состояние окружающей среды и здоровья населения г. Перми в 1996 г.: справочно-информационные материалы. Пермь, 1997. 100 с.

162. Состояние окружающей среды и здоровья населения г. Перми в 2001 г.: справочно-информационные материалы. Пермь, 2002. 320 с.
163. Строганова М.Н., Агаркова М.Г. Городские почвы: опыт и изучение систематики (на примере почв юго-западной части г. Москвы) // Почвоведение. 1992. №7. С. 16–24.
164. Строганова М.Н., Раппопорт А.В. Антропогенные почвы ботанических садов крупных городов южной тайги // Почвоведение. 2005. № 9. С. 1094–1101.
165. Сунцев А.С., Леонова-Вендеровская З.А., Денисов М.И., Черткова И.И. Структурная геология и геологическое картирование. Геологическое строение района г. Перми. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2000. 104 с.
166. Сущук А.А., Груздева Л.И. Влияние техногенного загрязнения промышленных центров Карелии на сообщества почвенных нематод // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. 2011. №25. С. 445–452.
167. Терентьев В.И., Суханов П.А. Классификация деградированных почв и непочвенных поверхностных образований. Тезисы и доклады Всерос. конференции «Антропогенная деградация почвенного покрова и меры ее предупреждения». М., 1998. С. 16–18.
168. Терехова В.А., Гладкова М.М. Инженерные наноматериалы в почве: проблемы оценки их воздействия на живые организмы // Почвоведение. 2014. № 1. С. 82–90.
169. Терехова В.А. Биотестирование почв: подходы и проблемы // Почвоведение. 2011. № 2. С. 190–198.
170. Терехова В.А., Якименко О.С., Воронина Л.П., Кыдралиева К.А. Методика измерений биологической активности гуминовых веществ методом фитотестирования (“Фитоскан”). ФР.1.31.2012.11560. М.: Доброе слово. 2014. 24 с.

171. Тимофеев М.А., Терехова В.А., Кожевин П.А. Биотестирование почв при загрязнении кадмием // Вестник Московского ун-та. Серия 17. Почвоведение. 2010. №4. С. 44–47.
172. Тренды трансформации почв в Варшаве под влиянием антропогенных факторов и классификация почв урбанизированных территорий // РЖ «Охрана природы». 1994. № 4. С. 27.
173. Трифонова Т.А., Забелина О.Н. Изменение биологической активности почвы городских рекреационных территорий в условиях загрязнения тяжелыми металлами и нефтепродуктами // Почвоведение. 2017. №4. С. 497–505.
174. Филькин Т.Г., Еремченко О.З., Максимова С.Е., Шестаков И.Е. База геоданных «Почвы. Пермский край». РИНИПИ РАО, 2014. Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 19863.
175. Фомин Г.С., Фомин А.Г. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. Справочник. М.: «Протектор», 2001. 304 с.
176. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 1990. 189 с.
177. Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв. М. 1976. 180 с.
178. Хакунова Е.М. Ферментативная активность как показатель биологической активности агрогенных почв степной зоны Эльбрусского варианта поясности Кабардино-Балкарии (на примере полугидроморфных почв). Материалы Междунар. научной конференции XIX Докучаевские молодежные чтения. СПб.: Издательский дом С.-Петербургского гос. ун-та, 2016. С. 194–195.
179. Хасанова Р.Ф., Суюндуков Я.Т., Семенова И.Н. Биологическая активность гумусового горизонта чернозема обыкновенного как показатель экологического состояния агроэкосистем (Башкортостан) // Почвоведение. 2014. №8. С. 982–987.

180. Химическое загрязнение почв и их охрана: Словарь-справочник / Д.С. Орлов, М.С. Малинина, Г.В. Мотузова, Л.К. Садовникова, Т.А. Соколова. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.
181. Шагидуллин Р.Р., Латыпова В.З., Иванов Д.В., Шагидуллина Р.А., Тарасов О.Ю., Петров А.М. Нормирование допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах // Георесурсы. 2011. № 5(41). С. 2–5.
182. Шарипов О.Ш., Бегматов Ш.А. Микробиологическая активность засоленных луговых почв Бухарского Вилоята (на примере почв Жондорского Тумана). Материалы междунар. научной конференции XVIII Докучаевские молодежные чтения. СПб.: Издательский дом С.-Петербургского гос. ун-та, 2015. С. 87–89.
183. Шарков И.Н. Определение интенсивности продуцирования CO_2 адсорбционным методом // Почвоведение. 1984. № 7. С. 136–143.
184. Шестаков И.Е., Еремченко О.З., Филькин Т.Г. Картографирование почвенного покрова городских территорий на примере г. Пермь // Почвоведение. 2014. №1. С. 12–21.
185. Шунелько Е.В., Федорова А.И. Экологическая оценка городских почв и выявление уровня токсичности тяжелых металлов методом биотестирования // Вестник ВГУ. 2002. №1. С. 93–104.
186. Щербаков А. П. Мониторинг земель г. Воронежа // РЖ «Охрана природы». 1995. № 7. С. 23.
187. Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв / Отв. ред. В.Н. Кудеяров, И.В. Иванов. М.: ГЕОС, 2015. С. 804–841.
188. Burns R.G. Soil enzymology. Sci. Progr., 1977. V. 64. № 254.
189. Byrne L.B. Habitat structure: A fundamental concept and framework for urban soil ecology // Urban Ecosyst. 2007. № 10. P. 255–274.

190. Chaignon V., Hinsinger P. A Biotest for Evaluating Copper Bioavailability to Plants in a Contaminated Soil // Journal of Environmental Quality. 2003. Vol. 32. No. 3. P. 824–833.
191. Czerniawska-Kusza I., Ciesielczuk T., Kusza G. and Cichon A. Comparison of the Phytotoxkit microbiotest and chemical variables for toxicity evaluation of sediments // Environmental Toxicology. Vol. 21. Iss. 4. P. 367–372.
192. Edson V.C. Rosa, Thayse M. Giuradelli, Albertina X.R. Corrêa, Leonardo R.Rörig, Paulo R.Schwingel, Charrid Resgalla Jr., Claudemir M. Radetski Ecotoxicological evaluation of the short term effects of fresh and stabilized textile sludges before application in forest soil restoration // Environmental Pollution. Volume 146. Issue 2. 2007. P. 463–469.
193. Fuleky G., Barna S. Biotesting of heavy metal pollution in the soil // Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 2008. Vol. 3. No. 2. P. 93–102.
194. Gresta J., Olszowskij. The effect of fertilization on the biological activity of the soil of former open casts. Ecol. pol. V. 22. №2. 1974.
195. ISO 22030:2005 «Soil quality. Biological methods. Chronic toxicity in higher plants» (URL: <http://www.iso.org/iso/ru/home.htm>)
196. New York City Soil Survey Staff (2005): New York City reconnaissance soil survey. USDA-NRCS, Staten Island, New York, USA.
197. Pouyat R.V., Russell+Anelli J., Neerchal N.K. Soil chemical and physical properties that differentiate urban land-use and cover types // Soil Science Society of America J. 2007. № 71. P. 1010–1019.
198. Qiu Li-ping, Liu Jun, Wang Yi-quan, Sun Hui-min, He Wen-xiang Research on relationship between soil enzyme activities and soil fertility // Plant Nutrition and Fertilizing Science. 2004. №3.
199. Sobocká Jaroslava. Specifics of urban soils (Technosols) survey and mapping // 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1–6 August 2010, Brisbane, Australia.

200. Soil Atlas of Europe, European Soil Bureau Network European Commission, 2005, 128 pp Office for Official Publications of the European Communities, L-2995 Luxembourg.

201. Vodyanitskii Y.N., Savichev A.T. Heavy metals contamination of soils in the ural region, Russia // Contaminated Soils: Sources, Properties and Impacts. Moscow, 2016. P. 121–140.

202. World reference base for soil resources 2014. Food and agriculture organization of the United Nations. Rome, 2015. 192 p.

203. ISO 11269-2:2012. Soil quality. Determination of the effects of pollutants on soil flora - Part 2: Effects of contaminated soil on the emergence and early growth of higher plants. 19 p.

ПРИЛОЖЕНИЯ



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) RU⁽¹¹⁾ 2 620 555⁽¹³⁾ C1(51) МПК
G01N 33/24 (2006.01)

(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21)(22) Заявка: 2016113050, 05.04.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
05.04.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 05.04.2016

(45) Опубликовано: 26.05.2017 Бюл. № 15

Адрес для переписки:

614097, г. Пермь, а/я 105, Патентное бюро
"ОНОРИН", Онорину А.А.

(72) Автор(ы):

Еремченко Ольга Зиновьевна (RU),
Митракова Наталья Васильевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Еремченко Ольга Зиновьевна (RU),
Митракова Наталья Васильевна (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: SU1481681 A1, 23.05.1989.
SU1420525 A1, 30.08.1988.СЕДЕЛЬНИКОВА Л.Л. и др.,
Использование метода биотестирования
экологического состояния в городской
среде, Серия "Биология, химия", 2014, 27
(66), 5 Спецвыпуск, стр. 154-159, найдено
19.12.2016 в Интернете [on-line] на сайте
<http://sn-biolchem.cfuv.ru/wp-content/uploads/2016/11/018sedel.pdf>. ЕРЕМЧЕНКО О.З.,
Повышение редокс-активности растений
как тест-реакция на загрязнение почв,
Вестник Тамбовского университета. Серия:
Естественные и технические науки, 2014,
19 (5), стр. 1285-1288, найдено 19.12.2016 в
Интернете [on-line] на сайте <http://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-redoks-aktivnosti-rasteniy-kak-test-reaktsiya-na-zagryaznenie-pochv#ixzz4T11GCdX1>.
КАСАТКИН М.Ю. и др., Практикум по
физиологии растений, ФГБОУ ВПО
Саратовский ГУ, 2015, стр. 45-47, найдено
19.12.2016 в Интернете [on-line] на сайте
http://elibrary.sgu.ru/uch_lit/1404.pdf.(54) СПОСОБ ОЦЕНКИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ И
ТЕХНОГЕННЫХ ПОЧВОГРУНТОВ

(57) Формула изобретения

Способ оценки биологической активности и токсичности почв и техногенных почвогрунтов с использованием высших растений, которые выращивают на почвенных пробах, отличающийся тем, что в качестве тест-культуры используют растения кресс-салата *Lepidium sativum* L., культивируемого на вермикулите с раствором Кнопа, растения выращивают в течение 10-12 дней, проводят замеры высоты и массы, в растительном экстракте определяют редокс-активность, при отсутствии достоверных различий с тест-контролем по высоте, массе и редокс-активности делают вывод о

хорошей биологической активности и отсутствии токсичности почвы по следующим критериям: при снижении показателей развития кресс-салата на 10-30% состояние почвы или почвогрунта по сравнению с вермикулитом считать удовлетворительным; при снижении на 30-50% - неудовлетворительным; а при уровне снижения показателей более 50% - считать экологически опасным или при повышении редокс-активности растительного экстракта на 10-30% относительно тест-контроля считать почву или почво-грунт умеренно токсичным; при повышении на 30-50% - сильно токсичным; а при уровне повышения показателя более 50% - считать экологически опасным.

RU 2620555 C1

RU 2620555 C1

Филиал ФГБУ «ЦЛАТИ по УФО» по Тюменской области

подтверждает, что патент на изобретение № 2620555 Еремченко О.З., Митракова Н.В. «Способ оценки биологической активности и токсичности почв и техногенных почвогрунтов» был успешно применен для фитотестирования нефтезагрязненных грунтов, буровых шламов и строительных материалов на основе буровых шламов.

Предоставленные пробы были использованы для выращивания тест-культуры – кресс-салата. В отчете по исследованиям представлены фотографии и протоколы результатов фитотестирования. Достоверность исследований обоснована математической обработкой данных о состоянии растений на испытываемых пробах в сравнении с тест-контролем на вермикулите и растворе Кнопа.

На основе полученных в эксперименте данных по высоте, массе, редокс-активности тест-культуры пробы почвогрунтов, шламов и строительных материалов были дифференцированы на группы: токсичных, с неудовлетворительным и удовлетворительным экологическим состоянием.

Морфологическое описание природных почв

Чернозёмы лесостепи Пермского края отличаются темноокрашенным, почти черным гумусовым горизонтом, достигающим в среднем 38 см, и наличием кремнезёмистой присыпки на поверхности структурных агрегатов в глинисто-иллювиальном горизонте (рис. 1). Профиль исследуемой почвы имел следующее строение.

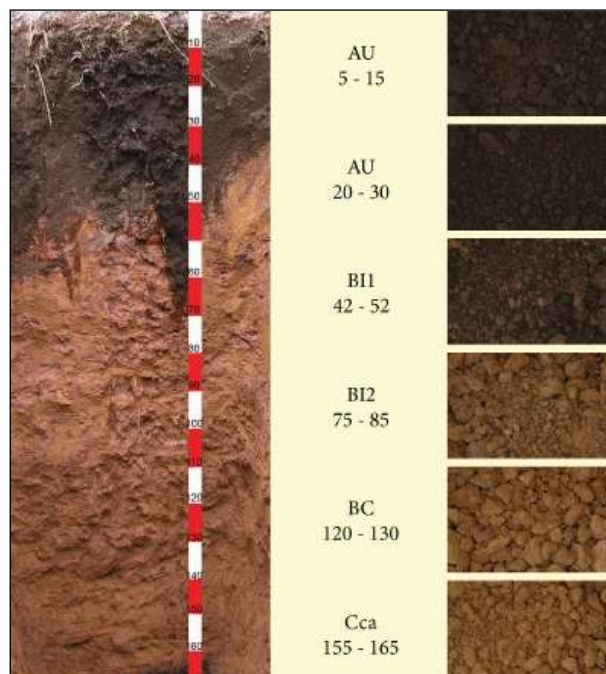


Рис. 1. Профиль чернозема глинисто-иллювиального легкоглинистого (Еремченко и др., 2010)

AU – темnogумусовый, 0-28/28 см; имеет на поверхности рыхлую дернину серовато-бурой окраски мощностью 3 см, состоящую из травяного опада различной степени разложения и корней трав вперемешку с почвенной массой; верхняя часть горизонта – рыхлая, комковато-зернистая, с буроватым оттенком; в средней части окраски становится тёмно-серой, структура – ореховато-комковатой, распадающейся на зерна; в нижней части горизонт становится уплотненным, крупные призмы распадаются на зернистые, ореховатые и комковатые отдельныености; признаков оподзоленности не отмечено; тонкопористый, слаболипкий, легкоглинистый; содержит обильные корни и отчетливые следы деятельности дождевых червей: копролиты и бурые крапины – занесенный материал нижележащего горизонта; переход к следующему горизонту сильноязыковатый.

BI1 – глинисто-иллювиальный, 28-63/35 см; сильноязыковатый, окраска неоднородна: от темно-серой в верхней части горизонта и «языках» и до серой, серовато-бурой и красновато-бурой в нижней части; структура у бурой массы – ореховатая, у тёмно-серой – комковато-мелкозернистая; в целом сложение плотное; новообразования представлены гумусовыми языками и слабой белесой присыпкой по граням темно-серых структурных отдельностей; встречаются червоточины и кротовины; обильные корни.

BI2 – глинисто-иллювиальный переходный, 63-98/35 см; коричнево-бурый; по структуре горизонт в верхней части ореховато-призматический, в средней – крупнопризматический, близкий к тумбовидному, в нижней – тонкопризматический; тонкопористый; есть редкая сеть преимущественно вертикальных и диагональных трещин; плотный. Легкоглинистый, липкий; встречаются редкие гумусовые языки; переход к последующему горизонту очень постепенный ровный.

C1 – переходный к материнской породе, 98-143/45 см; бурый с рыжеватым или желтоватым оттенком; бесструктурный, тонкопористый, плотный; липкий, глинистый; встречаются темно-серые глинистые невискипающие пластиночки; коричневые глинисто-гумусовые кутаны покрывают стенки пор; карбонатный мицелий по порам; переход к последующему горизонту очень постепенный, ровный; мелкозём вскипает с глубины 113-118 см.

C2ca – карбонатная глина, с 143 см (разрез до 177 см); по сравнению с вышележащим горизонтом отмечено усиление рыжеватого оттенка; глинисто-гумусовые кутаны сохраняются; карбонатного мицелия больше; бурное вскипание мелкозёма с 143-153 см.

Темно-серые почвы характеризуются значительной мощностью гумусового профиля, ослабленными признаками элювиальной части (рис. 2). Исследуемая темно-серая почва имела следующее морфологическое строение.

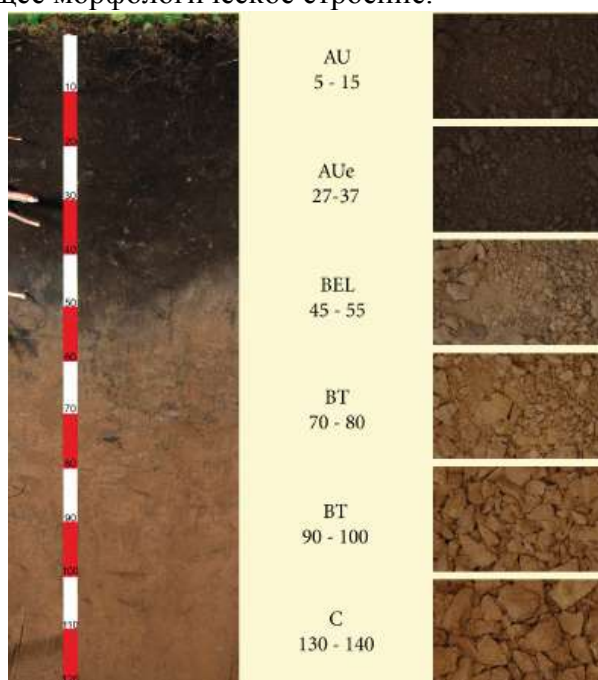


Рис. 2. Профиль темно-серой глинистой почвы (Еремченко и др., 2010)

AU – темно-гумусовый, 0-26/26 см, имеет дернину мощностью 2 см; окраска темно-серая с буроватым оттенком; влажноватый, рыхлый; структура комковатая; легкоглинистый, тонкопористый и пористый, рыхлый, слаболипкий; есть червоточины, копролиты. Обильные корни; переход к следующему горизонту заметный волнистый.

AUe – темногоумусовый оподзоленный, 26-40/14; темно-серый, но более светлый, чем AU; влажноватый; структура комковато-пластинчатая; легкоглинистый, тонкопористый, уплотненный, слаболипкий; содержит червоточины, копролиты; корней меньше становится; переход к последующему горизонту заметный волнистый.

BEL – субэлювиальный, 40-58/18 см; состоит из комбинации цветов: крупные палевые пятна, темно-серые гумусовые языки, внизу – рыже-бурые заклинки; влажноватый; структура комковато-ореховатая; уплотненный; есть вертикальная трещиноватость; слаболипкий; легкоглинистый; корней немного; переход к последующему горизонту ровный постепенный.

BT – текстурный, 58-118/60 см; коричнево-бурый; влажноватый; структура крупноореховато-призматическая; тонкопористый; тонкотрещиноватый; уплотненный; слаболипкий; легкоглинистый, встречаются единичные корни; переход к последующему горизонту ровный, очень постепенный.

C1 – переходный к почвообразующей породе горизонт, с 120 см (разрез до 160 см); коричнево-буроватой окраски; влажноватая; структура крупнопризматическая, близка к

тумбовидной; тонко-пористая; тонкотрещиноватая; плотная, липкая, легкоглинистая; единичные корни.

Для серых почв лесостепи Пермского края характерна заметная аккумуляция органического вещества в верхнем горизонте, чёткая элювиально-иллювиальная дифференцировка профиля (рис. 3).

Исследуемая серая почва имела следующее морфологическое строение.

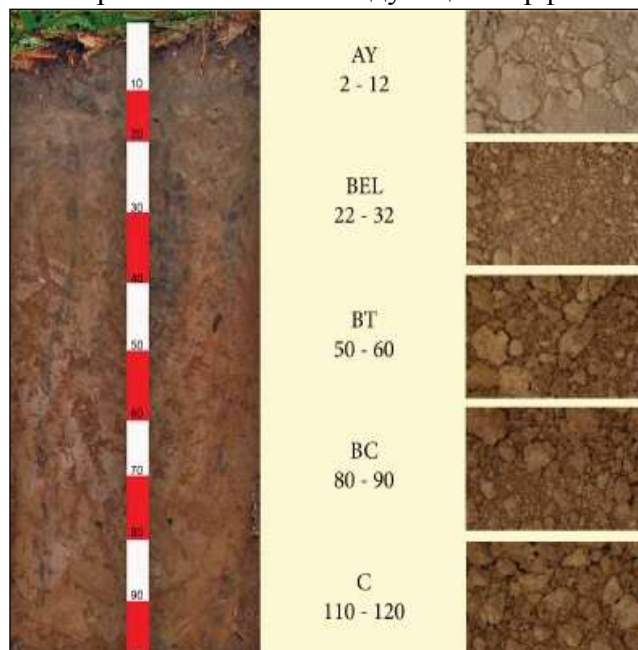


Рис.3. Профиль серой суглинистой почвы (Еремченко и др., 2010)

AY – серогумусовый (дерновый), 0-12/12 см; в верхнем слое имеет дернину мощностью около 2 см; буровато-светло-серый, непрочно-комковато-пылеватый, уплотненный, нелипкий, среднесуглинистый; встречаются червоточины и корневины; корней немного; переход к последующему горизонту волнистый постепенный.

AEL – гумусово-элювиальный, 12-20/8 см; окраска неоднородная; светло-серые пятна на светло-буром фоне; слегка увлажненный; непрочно-пластинчато-пылеватый, уплотнённый, нелипкий, среднесуглинистый; переход к последующему горизонту волнистый постепенный.

BEL – субэлювиальный, 20-40/20 см; состоит из комбинации светло-серых и светло-бурых, иногда тёмных, фрагментов (гумусовые языки, корневины, кротовины); увлажненный, ореховатый, уплотненный, слаболипкий, среднеглинистый; содержит много червоточин и корневин; живых корней мало; переход к последующему горизонту постепенный ровный.

BT – текстурный, 40-66/26 см; окраска красно-бурая, местами есть желтоватый оттенок; структура многопорядковая крупноореховато-крупнопризматическая, структурные отдельности покрыты блестящими плёнками; уплотненный, липкий, среднеглинистый, сильно увлажненный; содержит гумусовые языки, железо-марганцевые конкреции, редкие корни; переход к последующему горизонту постепенный ровный.

BC – переходный к материнской породе, 66-104/38 см; красновато-бурый с желтым оттенком, влажный; крупноореховато-призматический, уплотненный, липкий, среднеглинистый; есть единичные тёмные фрагменты – корневины и кротовины; содержит железо-марганцевые конкреции (меньше, чем в BT), единичные корни; переход к последующему горизонту очень постепенный.

C – среднеглинистая почвообразующая порода, с 104 см (разрез до 145 см); окраска, структура, гранулометрический состав сходны с таковыми горизонта BC, но в нем выше липкость и ниже плотность.

Дерново-подзолистая имела следующее строение почвенного профиля (рис. 4):

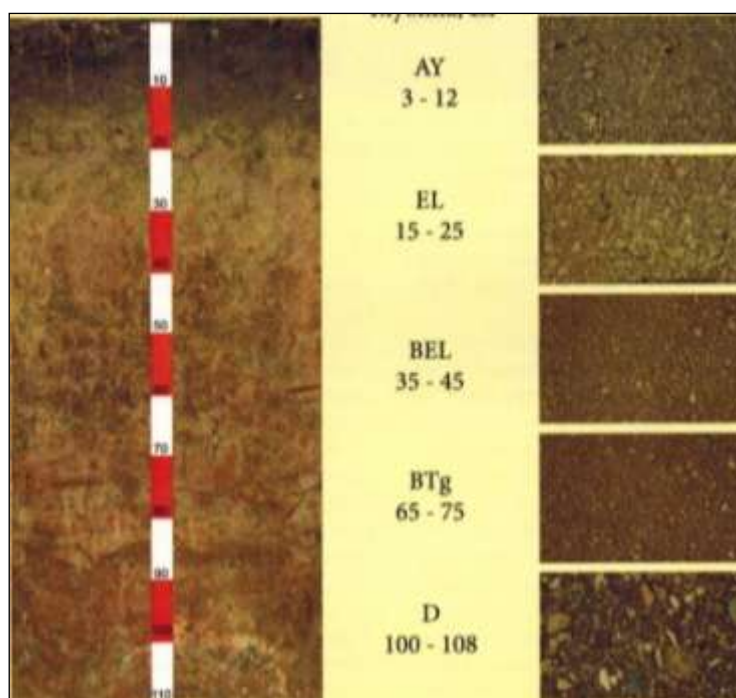


Рис.4. Профиль дерново-неглубокоподзолистой легкосуглинистой почвы (Еремченко и др., 2010)

AY – серогумусовый горизонт, 0-12/12 см (включает лесную подстилку мощностью 3 см, сложенную из остатков хвои и мхов); окраска буровато-серая; структура комковато-пылеватая; слегка увлажненный, рыхлый, не липкий, среднесуглинистый; содержит много корней и гальку; переход к последующему горизонту заметный ровный.

EL – элювиальный горизонт; 12-30/18 см; светло-серый с палевыми пятнами; слегка увлажненный; структура листовато-грубочешуйчатая; слегка уплотненный, не липкий, среднесуглинистый; содержит гальку; переход к последующему горизонту заметный волнистый.

BEL – субэлювиальный горизонт; 30-50/20 см; окраска неоднородная, красновато-бурая с серо-палевыми пятнами; увлажненный; структура мелкоореховатая; слегка уплотненный, слаболипкий, легкоглинистый; корней мало; редко встречается галька; в нижней части содержит мелкие железомарганцевые конкреции; переход к последующему горизонту постепенный ровный.

BTg – текстурный глееватый горизонт, 50-99/49 см; окраска неоднородная, красновато-бурая, местами красновато-рыжая, сочетается с голубовато-серыми плёнками, зонами; увлажненный; структура ореховатая и крупноореховатая; уплотненный; вязкий; легкоглинистый; содержит обильные новообразования - крупные железомарганцевые конкреции, темно-бурые, красновато-фиолетовые и голубовато-серые глянцевого кутаны; изредка встречаются корневины, галька, щебень; переход к последующему горизонту ясный ровный.

D – подстилающая порода, >99 см (полуразрез до 107 см); представлена гравийно-галечниковой смесью, более 80% горизонта по объему приходится на мелкие гальку и щебень; встречаются и крупные обломки плотных пород; все цементируется мелкоземом; окраска пестрая: красно-бурые, рыжие, голубовато-сизые зоны; сильно увлажненный; плотный; мелкозем среднесуглинистый, сильнолипкий.

Псаммозём гумусовый имеет следующее морфологическое строение профиля (рис. 5).

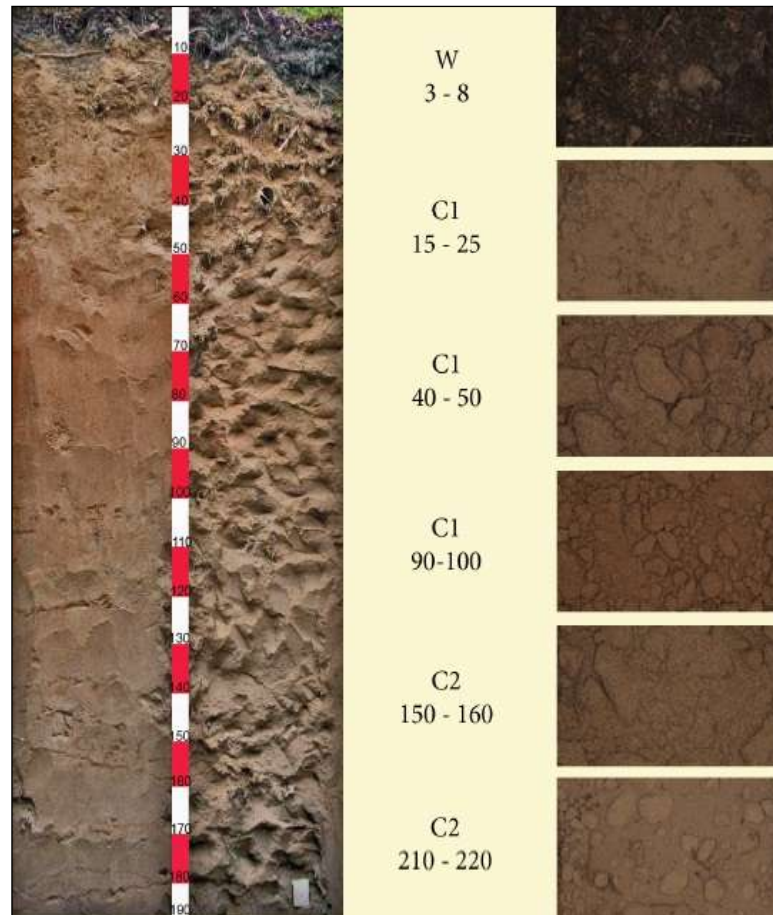


Рис. 5. Профиль псаммозема гумусового (Еремченко и др., 2010)

W – гумусово-слаборазвитый горизонт, 0–8/8 см (включает лесную подстилку мощностью 3 см, сложенную из остатков хвои); бурый, увлажненный, непрочно-комковатый, рыхлый, песчаный; нижняя часть горизонта содержит «зёрна» светлых песчаных фракций.

C – песчаная материнская порода, >8 см; слоистая: светло-бурые слои (местами с сероватым и палевым оттенками) чередуются с жёлто-бурыми; рассыпчатая, бесструктурная, от увлажнённой до влажной; слой 34–44 см слегка более уплотнён по сравнению с вышележащей толщей; с 44 см залегает достаточно однородный жёлто-бурый рыхлый песок.

Исследуемая агротемно-серая среднепахотная насыщенная среднегумусированная легкоглинистая почва имела следующее морфологическое строение.

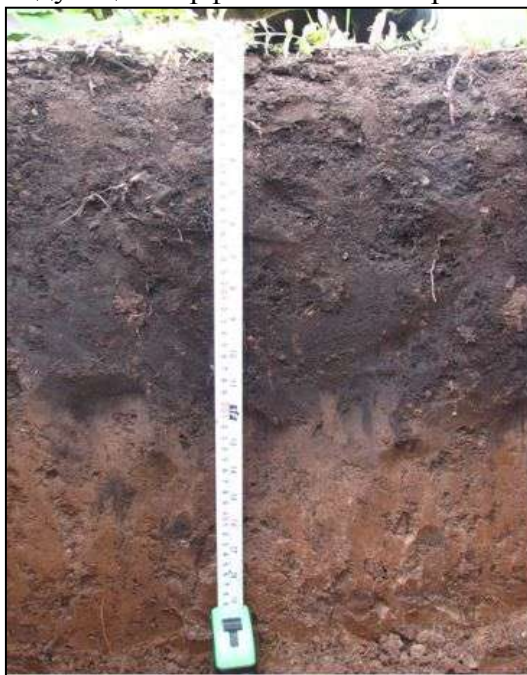


Рис. 6. Верхняя часть профиля агротемно-серой легкоглинистой почвы

PU – агротемно-гумусовый, 0-30/30 см; окраска темно-серая с фрагментами бурого цвета по всему горизонту; увлажненный, уплотненный; структура комковатая; легкоглинистый, слаболипкий; присутствуют корни растений, встречаются червоточины, копролиты. Переход к следующему горизонту постепенный.

BEL – субэлювиальный (остаточный), с 30-38/8 см; бурая окраска с включениями более светлого оттенка; увлажненный, рыхлый; структура комковато-ореховатая; есть вертикальная трещиноватость; слаболипкий; легкоглинистый; переход к последующему горизонту малозаметный.

BT – текстурный, с 38 см; коричнево-бурая окраска; влажноватый; структура крупноореховато-призматическая; уплотненный; слаболипкий; легкоглинистый, встречаются единичные корни, копролиты.

Приложение 3

Таблица. Агрохимические свойства верхних горизонтов природных почв (Еремченко и др., 2010)

Почва	Горизонт	Глубина	Гумус, %	pH вод	pH сол	Гидроли- тическая кислотность (Нгк)	Сумма обменных оснований	Емкость катионного обмена (ЕКО)	Степень насыщенности оснований, %	Активность каталазы, O ₂ см ³ /г за 1 мин
						мг-экв/100 г почвы				
Чернозем глинисто- иллювиальный	AU	5– 15	14,05	5,90	5,05	12,2	48,9	61,0	80,0	6,4
		20 – 30	9,06	6,00	5,05	10,3	41,6	51,9	80,2	5,0
Темно-серая глинистая	AU	5 – 15	9,73	5,30	4,65	16,9	48,2	65,0	74,1	4,5
	AUe	27 – 37	-	5,95	4,75	15,0	41,4	56,3	73,4	2,9
Серая суглинистая	AY	2 – 12	6,91	5,67	4,64	4,1	24,5	-	84,8	4,1
	BEL	22 – 32	5,95	5,20	4,18	8,6	45,8	-	81,2	1,5
Дерново- неглубокоподзолистая легкосуглинистая	AY	3 – 12	4,29	4,76	3,72	15,0	13,1	28,1	46,6	1,9
	EL	15 – 25	1,37	5,95	3,64	8,7	14,3	23,1	62,0	1,6
Псаммозем гумусовый	W	0 – 6	5,17	4,05	3,3	5,2	-	-	-	1,6
	C	6 –16	2,10	3,85	3,46	3,8	-	-	-	1,0

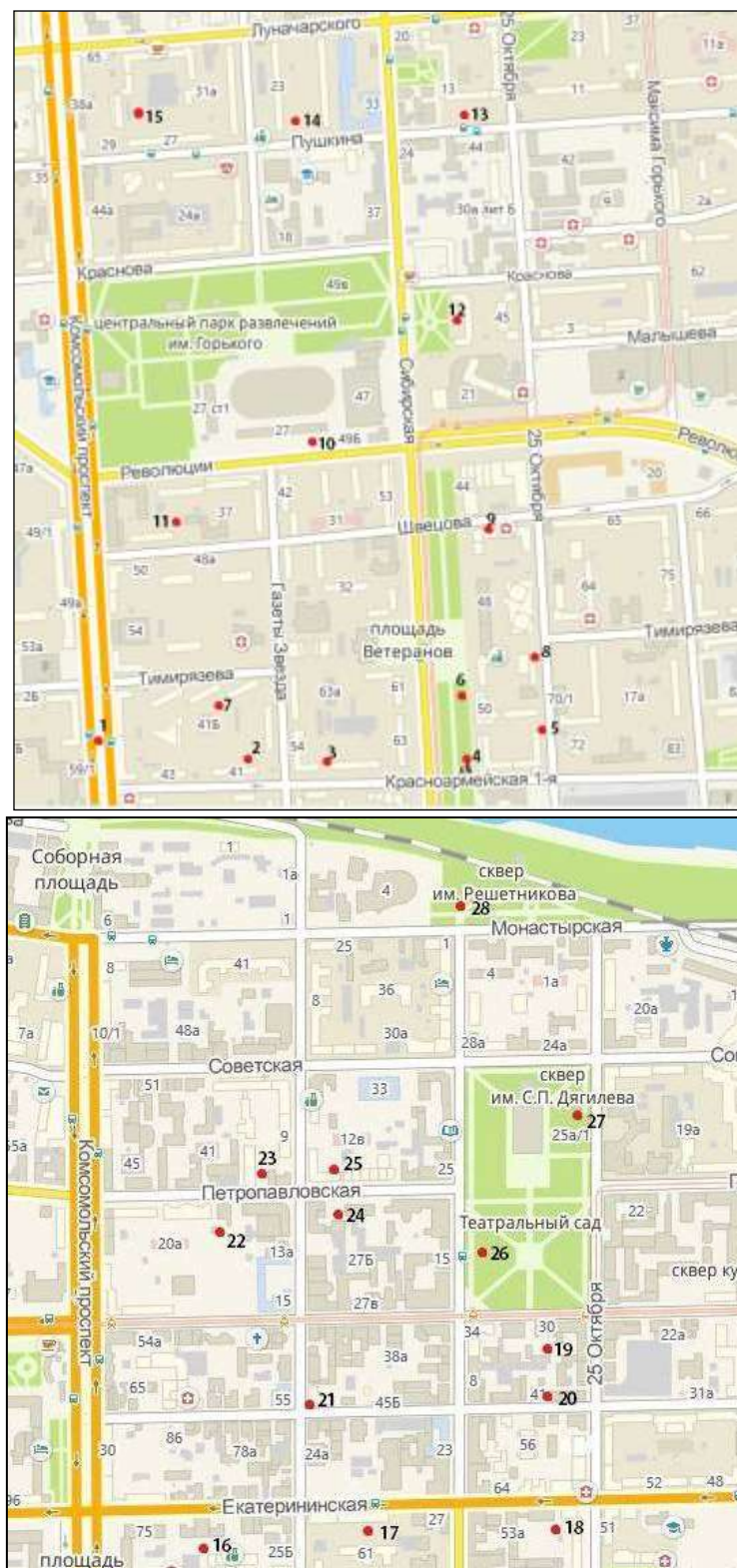


Рис.1. Расположение точек отбора проб в КУ-1, УПК на элювиально-делювиальных суглинках

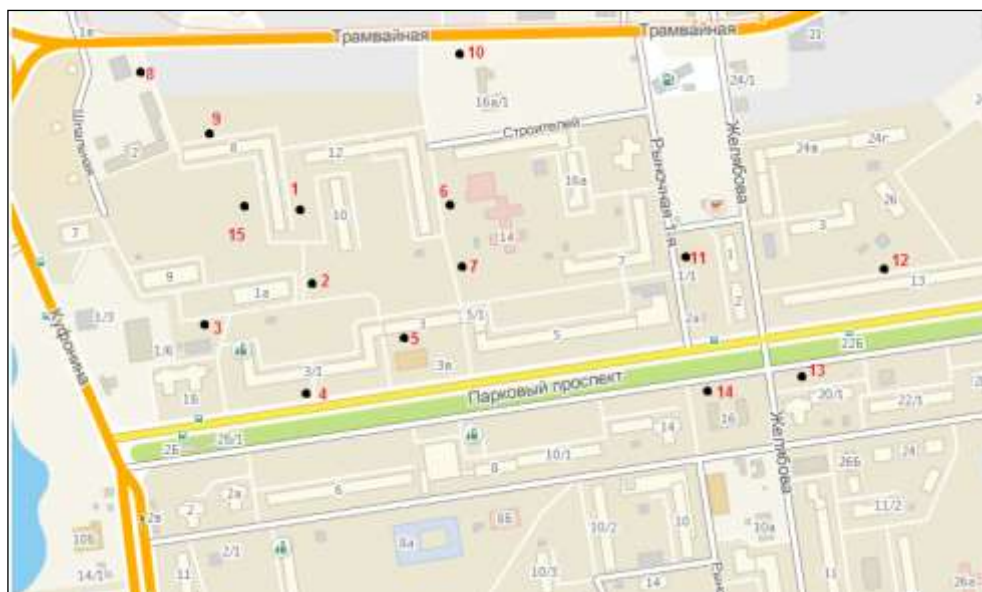


Рис.2. Расположение точек отбора проб в КУ-2, УПК на песчано-супесчаных породах древнеаллювиального происхождения

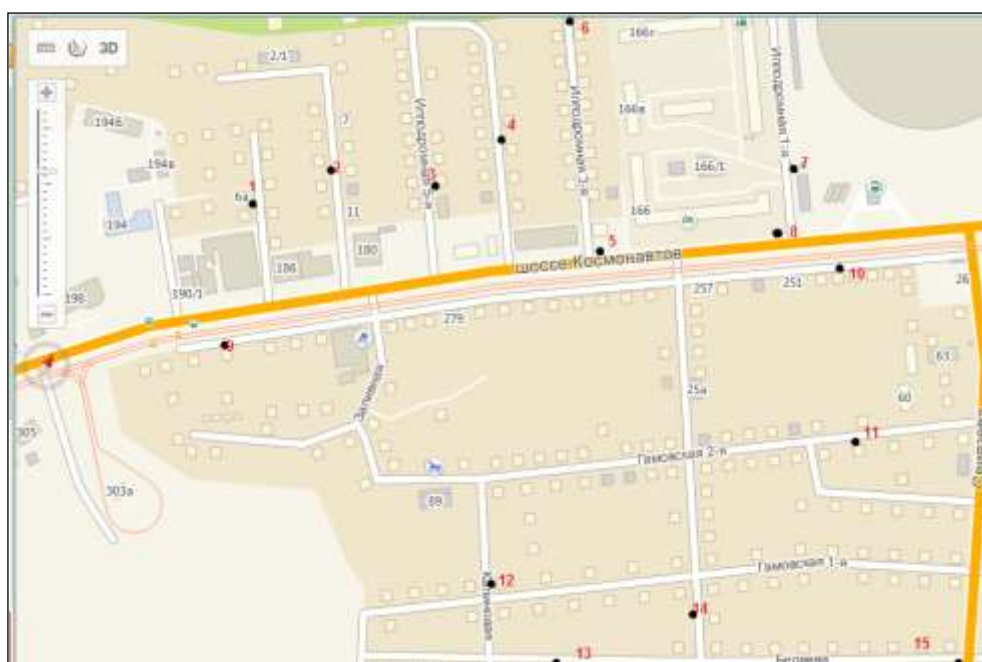


Рис.3. Расположение точек отбора проб в КУ-3, УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями



Рис.4. Расположение точек отбора проб в КУ-4, УПК на аллювиальных породах

Описание почв и ТПО г. Перми (Еремченко и др., 2016)

1. Урбостратозем техногенный

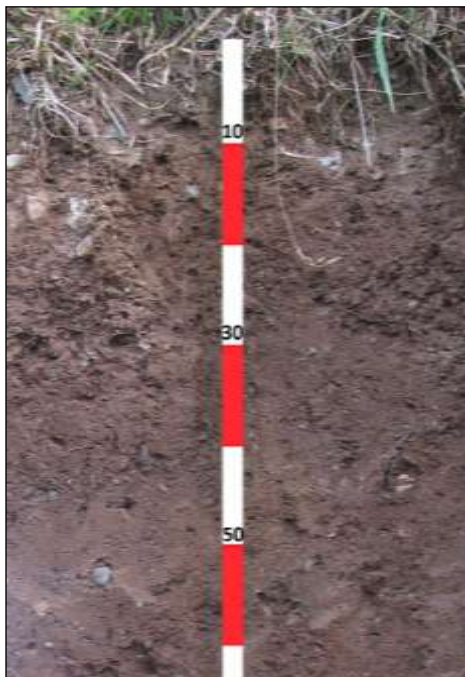


Рис.1. Внешний вид урбостратозема техногенного (Еремченко и др., 2016)

UR – горизонт урбик, 0–15/15 см, серовато-буровато-коричневый, пылеватый с намечающейся тонкой пластинчатостью; суглинистый; более плотный, чем нижележащие слои; содержит много антропогенных включений: стекло, угли, полиэтилен, мусор, пластик, резина, битум, очень много щебня; обильно пронизан корнями.

ТСН – техногенный горизонт, 15–50/35 см; красновато-темно-коричневый с малиновым оттенком; среднесуглинистый, рыхлый; содержит фрагменты светло-серого спрессованного песка и коричнево-красной глины; корней мало; содержит множество антропогенных включений; переход резкий по окраске и по плотности.

2. Урбостратозем торфяно-эутрофированный

URte – горизонт урбик торфяно-эутрофированный, 0–20/20 см, сформировался из низинного торфа; темно-серый, комковато-ореховатый, среднесуглинистый, рыхлый, сухой; корней много; содержатся фрагменты почвенной массы светло-бурого цвета.

ТСН – техногенный горизонт, 20–50/30 см; неоднородный: светло-буро-светло-коричневый с коричневыми полосами; светлые полосы супесчано-легкосуглинистые, темные – тяжелосуглинистые опесчаненные; слоистый, местами плитчатый, уплотнённый, вертикально-трещиноватый, почти сухой; корней мало, много корневин, заполненных темным материалом; переход ровный постепенный.

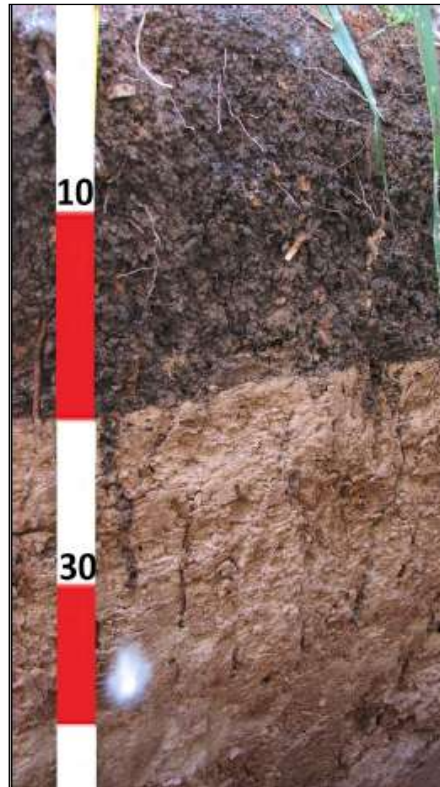


Рис.2. Внешний вид урбостратозема торфяно-эутрофированного (Еремченко и др., 2016)

3. Квализем компостно-гумусовый



Рис.3. Внешний вид квазизема компостно-гумусового

RATca – рекультивационный компостно-гумусовый горизонт, 0–10/10 см, темно-бурой окраски, рыхлый, комковатый, слегка уплотненный, легкосуглинистый, с антропогенными включениями (щебень, гравий).

Dca – минеральный грунт, 10–74/64 см, коричневато-светлобурый, пылевато-пластинчатой структуры, суглинистый, со значительной примесью крупного песка, с включениями щебня, камней и гравия.

4. Квазизем торфяной

RT – рекультивационный торфяной горизонт, 0–8/8 см, почти черного цвета, легкосуглинистый, рыхлый, переплетен корнями трав.

Dca – минеральный грунт, 8–120/112 см, светло-бурого цвета, бесструктурный, плотный, суглинистый, с включениями щебня, гальки, корней растений и фрагментами материала белесого цвета.



Рис.4. Внешний вид квазизема торфяного (монография Еремченко и др., 2016)

4. Литострат



Рис.5. Внешний вид литострата

C#ca,ur – слой 0–63/63 см – перемешанный, неоднородный грунт, темно-серо-бурого цвета, с пятнами желто-рыжих включений, бесструктурный, плотный, супесчаный, с примесью гальки и щебня. Вскипает по всей глубине.

Краткая история микрорайонов города Перми

Микрорайон Центр

Ключевой участок № 1

УПК на элювиально-делювиальных суглинках

Ленинский район - центральный район Перми. Район уникален тем, что расположен на территории старого исторического центра города. В него вошла наиболее старая часть города, где, начиная с 1723 года, со времени основания медеплавильного завода на реке Егошиха, строились административные, промышленные и другие здания. К 1782 г. город занимал площадь в 50 га и носил линейный характер – кварталы улиц вытянулись вдоль реки почти на 2 км. В 1780-1861 гг. сформировалась центральная часть города, определившая его дальнейшее развитие.

В настоящее время этот центральный район города насыщен историческими и архитектурными постройками. В 1789 г. была построена одноэтажная церковь, в настоящее время на этом месте находится Пермская государственная фармацевтическая академия. В 1793 г. на Слудской горе было заложено первое монастырское здание. В 1798–1832 гг. возвели здание Спасо–Преображенского кафедрального собора.

С 1800–х гг. начинается застройка района зданиями аптек, судов, образовательных учреждений, особняков. Здания со временем меняли свое предназначение. С начала 1900–х гг. был открыт первый кинотеатр, речное училище, баня. С 1950–1960–х гг. шла реконструкция Комсомольского проспекта. В 1963 г. был проведен конкурс на застройку центра г. Перми. Начался снос старых деревянных домов по улицам Ленина и Коммунистической. В начале 1970–х гг. стал осуществляться проект застройки горы Слудки, по улице Коммунистической возводятся 9– и 12–этажные дома. Дома по ул. Попова, 21 и 23 возводились позднее, в конце 1990–х гг. В микрорайоне Центр много новостроек, строительство началось в 2000–х гг. и продолжается.

Формально Ленинский район организован в 1936 году решением Президиума Пермского городского Совета. Сегодня Ленинский район – это административный центр города, именно здесь осуществляется политическое и экономическое руководство не только городом, но и краем.

Микрорайон Парковый

Ключевой участок № 2

УПК на песчано-супесчаных породах древнеаллювиального происхождения

Предшественником микрорайона Парковый был небольшой поселок Шпальный, возникший после 1917 г. по соседству с прудом. Ранее недалеко уже действовал шпалопропиточный завод, который был закрыт в 80-х годах.

В 1930-х гг. в начале современной ул. Подлесной был выстроен небольшой городок ОСОАВИАХИМа, состоявший из летних домиков. Этот военный городок ликвидировали в 1980-е гг.

Первая школа была построена в 1937 г., до 1951 г. она была единственной школой десятилеткой в поселке.

В 1937 году проложили трамвайные пути.

В середине 1970-х гг. институтом «Пермгражданпроект» был выполнен проект детальной планировки микрорайона. Строительство велось с частичной подсыпкой территории, местами заболоченной. Грунт для этих целей брали из р. Мулянка. Застраивался Парковый 9-16 этажными домами 97-й серии. Первый многоэтажный панельный дом был заселен в 1976 г.

Предприятий на Парковом мало. Одним из старейших является маргариновый завод, открывшийся в 1952 г. Завод был построен на болотистой местности.

Достопримечательностью микрорайона является сосновый бор, наличие которого в дальнейшем привело к строительству санаториев и лечебниц. Так, в начале 70-х годов здесь появился первый санаторий-профилакторий.

На границе Дзержинского и Индустриального районов расположен Черняевский лес – одна из главных достопримечательностей Перми. Чтобы оградить лес от хозяйственного использования местных жителей была в 1930-х гг. была создана Парковая Дача, на территории которой в дальнейшем (60-е гг.) был создан Центральный городской парк культуры. В 1981 г. Черняевский лес – был внесен в список ботанических памятников природы Пермской области.

Строительство в микрорайоне Парковый продолжается. Сегодня Парковый – динамично развивающийся жилой район.

Микрорайон Верхние Муллы

Ключевой участок № 3

УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями

Впервые Верхнемуллинский починок упоминается в 16 веке. В 17 веке он становится важным административным центром Строгановых. Записи о переписи населения 1869 г. указывают на существование села с 116 дворами, также упоминаются церкви, училище, кузни, магазины. В селе Верхние Муллы в 1823 г. было открыто мужское начальное училище, а в 1865 –женское. В 1886 г. в селе было построено здание волостного правления и школы. В 1909 г. было открыто сельскохозяйственное общество. В 1914 г. был расположен лагерь военнопленных. В 1925 г. был образован доврачебный участок. Сейчас, зданий, построенных в 19-20 вв., осталось немного.

В 1920 г. в селе Верхние Муллы был образован сельский совет, который объединял ряд населенных пунктов, вошедших позднее в Индустриальный район. После 1950-х гг. новых зданий в Верхних Муллах строилось немного.

Самое крупное предприятие – завод «Агрореммаш», созданный в 1992 г. в 1993 г. на базе производственного объединения «Пермсельхозремонт».

На участке микрорайона, который находится перед ипподромом в 1930-е было Верхнемуллинское сельское кладбище.

В настоящее время большую территорию микрорайона занимают одноэтажные постройки с прилегающей территорией огородов, так называемый частный сектор.

Микрорайон Заимка

Ключевой участок № 4

УПК на аллювиальных породах

В 1920-х гг. в конце ул. Коммунистической (ныне - Петропавловская), вблизи полотна Горнозаводской железной дороги, существовал полуостров, образованный впадением в р. Данилиху речки Пермь-Як, это место и было заимкой.

Освоение Заимки шло постепенно. В 1823 г. состоялось открытие городской бойни. В 1858 г. около устья р. Данилихи был основан машино- и судостроительный завод. В 1877 г. на заводе стали строить суда, которые ходили по всей Волге и даже по Каспийскому морю. В 1895 г. было принято решение о строительстве Пермь-Котласской железной дороги. Позднее, со строительством в 1906 – 1909 гг. железной дороги Пермь - Кунгур - Екатеринбург ст. Заимка была расширена.

Заимка известна среди пермяков, прежде всего, тем, что здесь расположен первый на Урале университет, основанный в октябре 1916 г. На территории университета располагается ботанический сад в 1922 г. (рядом с университетом на заболоченном

пустыре), а также несколько корпусов, изначально имеющих свою определенную функцию.

В нач. 20 в. на Заимке были выделены кварталы, «назначенные для кожевенных и прочих заведений, смрад и нечистоту производящих».

В 1921 г. на берегу р. Камы, в устье Данилихи, пущена городская электростанция им. Каменева, снабжавшая электроэнергией г. Пермь.

В 1935 г. на Заимке вступила в строй одна из первых в стране фабрик мороженого. В годы Великой Отечественной войны на Заимке был пущен в действие кулинарный цех, в 1956 г. на этом месте появился рыбообрабатывающий завод.

В 1955 г. на Заимке открыто мукомольное предприятие, ныне ОАО «Пермский мукомольный завод», на его месте в 1912 г. располагалась купеческая мельница.

В 1960-х гг. произошли разительные перемены. Речка Данилиха была забрана в трубу, благоустроена площадь перед заводом им. Ф. Э. Дзержинского (до 1926 г. – завод «Уралсепаратор», а ещё раньше – завод пароходчика И. И. Любимова). Тогда же было возведено и новое здание ст. Пермь II (1963 г.).

Следует отметить, что сегодня не существует целого ряда предприятий, когда-то находившихся в этих местах. Однако и сегодня Заимка остается одним из производственных центров города.

Приложение 7

Таблица 1

Результаты статистической обработки данных по содержанию гумуса в темно-серой и агротемно-серой почвах, %

Почва	Глубина, см	Повторность	Диапазон	Среднее	Ошибка	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Темно-серая	2-12	5	7,40-12,90	10,37	1,01	2,27	21,80
	12-22	5	6,37-12,60	9,55	1,11	2,48	25,90
	22-32	5	4,10-12,60	9,95	1,97	3,94	39,60
Агротемно-серая	2-12	5	3,70-6,00	4,76	0,40	0,90	18,80
	12-22	5	3,65-5,34	4,30	0,35	0,77	18,00
	22-32	5	2,10-4,60	3,20	0,52	1,17	36,00

Таблица 2

Результаты статистической обработки данных по $pH_{\text{вод}}$ в темно-серой и агротемно-серой почвах

Почва	Глубина, см	Повторность	Диапазон	Среднее	Ошибка	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Темно-серая	2-12	5	5,50 – 6,03	5,79	0,09	0,21	3,40
	12-22	5	5,62 – 5,75	5,67	0,024	0,05	0,95
	22-32	5	5,64 – 5,94	5,80	0,05	0,12	2,00
Агротемно-серая	2-12	5	6,13 – 7,50	6,68	0,25	0,56	8,40
	12-22	5	6,20 – 7,47	6,70	0,24	0,54	8,00
	22-32	5	6,13 – 7,52	6,63	0,24	0,55	8,00

Таблица 3

Результаты статистической обработки данных по $pH_{\text{сол}}$ в темно-серой и агротемно-серой почвах

Почва	Глубин, см	Повторность	Диапазон	Среднее	Ошибка	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Темно-серая	2-12	5	4,53 – 5,15	4,84	0,11	0,24	5,00
	12-22	5	4,58 – 4,73	4,66	0,03	0,07	1,40
	22-32	5	4,42 – 4,84	4,69	0,08	0,18	4,00
Агротемно-серая	2-12	5	5,10 – 6,75	5,73	0,30	0,68	11,80
	12-22	5	5,00 – 6,75	5,66	0,32	0,71	12,40
	22-32	5	5,03 – 6,73	5,60	0,30	0,68	12,00

Таблица 4

Результаты статистической обработки данных по гидролитической кислотности в темно-серой и агротемно-серой почвах, мг-экв/100 г почвы

Почва	Глубина, см	Повторность	Диапазон	Среднее	Ошибка	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Темно-серая	2-12	5	10,40 – 17,70	14,32	1,25	2,79	19,50
	12-22	5	11,80 – 17,40	15,06	0,92	2,05	13,60
Агротемно-серая	2-12	5	3,34 – 7,55	4,98	0,95	1,90	38,20
	12-22	5	3,56 – 7,35	5,03	0,88	1,76	35,10

Таблица 5

Результаты статистической обработки данных по ёмкости катионного обмена в темно-серой и агротемно-серой почвах,
мг-экв/100 г почвы

Почва	Глубина, см	Повторность	Диапазон	Среднее	Ошибка	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Темно-серая	2-12	5	40,00 – 51,10	45,34	1,77	3,96	8,70
	12-22	5	38,70 – 51,80	45,70	2,23	4,98	11,00
Агротемно- серая	2-12	5	32,40 – 36,30	34,42	0,76	1,69	5,00
	12-22	5	31,80 – 36,50	34,64	0,83	1,85	5,30

Таблица 6

Результаты статистической обработки данных по сумме обменных оснований в темно-серой и агротемно-серой почвах,
мг-экв/100 г почвы

Почва	Глубина, см	Повторность	Диапазон	Среднее	Ошибка	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Темно-серая	2-12	5	26,70 – 35,90	31,10	1,61	3,59	11,50
	12-22	5	26,90 – 36,00	30,64	1,66	3,71	12,10
Агротемно- серая	2-12	5	27,40 – 34,20	30,14	1,42	3,18	10,50
	12-22	5	28,20 – 35,70	30,42	1,46	3,26	10,70

Таблица 7

Результаты статистической обработки данных по степени насыщенности основаниями в темно-серой и агро темно-серой почвах, %

Почва	Глубина, см	Повторность	Диапазон	Среднее	Ошибка	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Темно-серая	2-12	5	60,10 – 74,00	68,70	2,58	5,77	8,40
	12-22	5	63,40 – 69,50	67,04	1,32	2,96	4,40
Агро темно-серая	2-12	5	78,30 – 96,60	87,54	3,09	6,90	8,00
	12-22	5	79,30 – 97,80	87,76	3,09	6,91	7,90

Таблица 8

Результаты статистической обработки данных по содержанию подвижных фосфатов в темно-серой и агро темно-серой почвах, мг на 100 г

почвы

Почва	Глубина, см	Повторность	Диапазон	Среднее	Ошибка	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Темно-серая	2-12	5	1,33 – 5,58	3,13	0,82	1,83	58,50
	12-22	5	0,78 – 3,66	1,70	0,52	1,16	68,00
	22-32	5	0,82 – 5,58	3,23	1,04	2,33	72,20
Агро темно-серая	2-12	5	18,75 – 53,40	33,52	6,37	14,24	42,50
	12-22	5	18,75 – 48,17	32,70	5,43	12,15	37,20
	22-32	5	20,22 – 42,05	30,06	3,63	8,11	27,00

Таблица 9

Результаты статистической обработки данных по содержанию подвижного калия в темно-серой и агротемно-серой почвах, мг на 100 г почвы

Почва	Глубина, см	Повторность	Диапазон	Среднее	Ошибка	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Темно-серая	2-12	4	8,00 – 18,00	12,13	2,22	4,44	36,60
	12-22	5	5,00 – 9,50	6,80	0,75	1,68	24,70
	22-32	5	4,50 – 7,00	5,60	0,48	1,08	19,40
Агротемно-серая	2-12	4	7,00 – 11,50	8,80	0,80	1,79	20,30
	12-22	5	6,50 – 8,50	7,80	0,44	0,98	12,50
	22-32	5	6,50 – 8,50	7,00	0,39	0,87	12,40

Таблица 10

Проверка достоверности различий агрохимических свойств почв темно-серой и агропочвы дисперсионным методом,
p – уровень значимости нулевой гипотезы

Глубина, см	Гумус	pH _{вод}	pH _{сол}	Гидролитическая кислотность	ЕКО	Степень насыщенности основаниями	Сумма обменных оснований	Фосфор (подв)	Калий (подв)
2-12	p=0	p=0	p=0,0001	p=0	p=0	p=0	p=0,8271	p=0	p=0,068
12-22	p=0	p=0	p=0	p=0	p=0	p=0	p=0,9887	p=0	p=0,2205
22-32	p=0,004	p=0	p=0,0001	-	-	-	-	p=0	p=0,0012

Примечание: « - » - данные отсутствуют.

Приложение 8

Таблица 1

Свойства почв и ТПО в УПК на элювиально-делювиальных суглинках (КУ-1)

№№	Название почв и ТПО	C _{орг} , %	pH _{вод}	pH _{сол}	Гидролитическая кислотность (Н _{гк})	Емкость катионного обмена (ЕКО)	K _{подв.}	P ₂ O ₅ подв.	CO ₂ карб, %	Pb	Cd	Cu
					мг-экв/100 г					мг/100 г		-lg[Me]
1	Квазизем компостно-гумусовый	10,70	6,70	6,48	3,60	48,70	29,50	9,00	0,55	6,81	5,68	7,39
2	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	4,50	7,42	7,11	0,50	44,60	34,50	5,80	1,13	7,76	6,15	7,44
3	Урбостратозем	1,90	7,86	7,19	0,70	41,90	51,25	7,70	1,23	8,06	6,65	8,08
4	Кваизем торфяной	27,30	4,64	4,03	46,00	88,50	20,40	4,60	-	5,51	5,55	5,13
5	Квазизем компостно-гумусовый	4,40	6,28	5,54	5,00	26,90	10,75	5,00	-	7,60	6,60	7,22
6	Квазизем торфяной	15,80	5,83	4,97	9,10	46,70	16,50	9,00	-	7,05	6,37	6,73
7	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	8,90	7,63	6,93	1,20	46,80	23,50	8,70	1,43	8,97	7,50	8,70
8	Урбостратозем	1,90	7,71	7,39	0,80	36,00	37,00	5,10	1,43	9,17	7,29	8,68
9	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	3,10	7,31	6,83	0,90	30,80	26,00	8,30	1,38	8,93	7,17	8,71
10	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	4,10	7,20	6,88	1,80	35,60	25,00	6,10	-	9,13	7,26	8,97
11	Урбостратозем	2,60	8,03	7,33	0,40	46,00	44,00	9,00	1,46	9,45	7,58	9,37
12	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	7,30	7,18	6,71	2,20	38,50	26,50	7,10	1,36	9,17	7,27	8,92
13	Урбостратозем	1,30	8,08	7,29	0,30	34,60	16,50	7,70	0,67	9,51	7,55	9,44
14	Урбостратозем	7,90	7,19	6,65	2,50	44,10	35,00	8,20	0,63	9,46	7,23	9,10

Продолжение таблицы 1

№№	Название почв и ТПО	C _{орг} , %	pH _{вод}	pH _{сол}	H _{гк}	ЕКО	K _{подв.}	P ₂ O ₅ подв.	CO ₂ карб., %	Pb	Cd	Cu
					мг-экв/100 г		мг/100 г			-lg[Me]		
15	Урбостратозем	6,60	7,69	7,13	0,70	45,40	30,50	8,50	0,43	9,39	7,51	9,41
16	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	5,10	7,38	6,95	1,20	41,80	36,00	8,00	0,32	9,51	7,46	9,38
17	Урбостратозем	1,90	7,70	7,03	0,90	38,70	33,00	6,30	0,34	9,30	7,47	9,57
18	Урбостратозем	2,90	7,77	7,19	0,80	36,90	29,50	5,60	0,32	9,97	7,63	9,69
19	Урбостратозем	0,70	8,03	7,51	0,40	19,00	13,00	4,00	0,19	9,79	7,53	9,82
20	Урбостратозем	1,10	7,17	4,16	0,70	11,50	12,00	4,20	-	9,59	7,33	9,32
21	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	4,40	8,07	7,39	0,80	46,90	9,40	4,40	0,91	9,75	7,63	9,89
22	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	3,10	7,54	7,04	1,00	40,70	36,00	6,00	0,41	9,58	7,43	9,62
23	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	4,50	7,24	7,77	1,20	43,50	42,50	7,70	0,39	7,31	7,24	9,35
24	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	5,00	7,98	7,33	0,80	44,30	26,00	6,40	0,59	10,02	7,60	9,86
25	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	5,50	7,08	6,70	1,50	35,50	14,25	4,20	-	8,92	6,98	9,09
26	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	4,90	7,28	6,68	1,80	36,60	37,50	7,70	-	9,35	7,28	9,62
27	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	4,00	7,05	6,68	1,00	15,60	13,00	4,50	-	9,54	7,36	9,46
28	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	4,40	7,33	7,08	0,60	45,10	22,75	5,70	0,47	9,31	7,28	9,52
	Среднее (М)	5,56	7,30	6,71	3,16	39,70	26,8	6,59	0,78	8,84	7,13	8,84
	Ошибка среднего (m)	1,0	0,1	0,2	1,6	2,5	2,1	0,32	0,1	0,2	0,1	0,2

Таблица 2

Состояние тест-культуры, выращенной на почвах и ТПО УПК на элювиально-делювиальных суглинках (КУ-1)

№№	Название почв и ТПО	Высота, мм		Масса, мг		Редокс-активность, мл KJO_3 на 100 г (РА)	Высота	Масса	РА
		М	м	М	м	М	% относительно контроля		
1	Квазизем компостно-гумусовый	42	1, 2	21	0,9	1685	87*	72*	121
2	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	46	1,2	30	6,7	1718	96	79*	124
3	Урбостратозем	39	1,6	20	1,0	1440	81*	69*	104
4	Кваизем торфяной	31	1,4	17	0,7	1259	64*	59*	91
5	Квазизем компостно-гумусовый	33	0,9	14	0,9	1814	69*	48*	131
6	Квазизем торфяной	50	0,9	29	0,9	1611	104	103	116
7	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	47	1,2	23	1,2	1703	98	79*	123
8	Урбостратозем	40	1,3	20	7,3	2092	83*	93	151*
9	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	47	1,6	26	1,1	1833	98	89*	132
10	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	38	1,3	21	0,9	1944	79*	72*	140*
11	Урбостратозем	43	1,3	22	1,1	2129	89*	76*	153*
12	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	42	1,1	23	0,8	1777	87*	79*	128
13	Урбостратозем	32	0,9	16	0,6	2426	67*	55*	175*

Продолжение таблицы 2

№№	Название почв и ТПО	Высота, мм		Масса, мг		Редокс-активность, мл KJO_3 на 100 г (РА)	Высота	Масса	РА
		М	м	М	м	М	% относительно контроля		
14	Урбостратозем	42	1,1	25	0,9	2018	87*	86*	145*
15	Урбостратозем	45	1,8	22	1,0	1963	94	76*	141*
16	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	43	1,4	23	0,9	2148	89*	79*	155*
17	Урбостратозем	46	1,5	24	1,2	1796	96	83*	129
18	Урбостратозем	38	1,7	17	0,8	1962	79*	59*	141*
19	Урбостратозем	43	1,5	19	0,7	2277	89*	65*	164*
20	Урбостратозем	38	1,4	16	0,8	2240	79	55*	161*
21	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	44	2,1	21	0,9	2185	92	69*	157*
22	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	47	1,1	24	0,8	1777	98	83*	128
23	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	56	1,6	30	1,1	1907	117*	96	137
24	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	51	1,4	24	0,9	1314	106	83*	95
25	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	49	1,4	30	1,2	1703	102	103	123
26	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	44	1,6	26	1,2	1796	87*	62*	129

Продолжение таблицы 2

№№	Название почв и ТПО	Высота, мм		Масса, мг		Редокс-активность, мл KJO_3 на 100 г (РА)	Высота	Масса	РА
		М	м	М	м	М	% относительно контроля		
27	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	42	1,9	18	0,9	2240	110*	100	161*
28	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	53	1,6	29	1,1	1277	89	91	92
29	Контроль	48	0,1	29	0,8	1388	100	100	100

Примечание: * - существенные различия

Таблица 3

Свойства почв и ТПО в УПК на древнеаллювиальных песках (КУ-2)

№№	Название почв и ТПО	С _{орг} , %	рН _{вод}	рН _{сол}	Н _{гк}	ЕКО	К _{подв}	Р ₂ О ₅ подв.	СО ₂ карб, %	Pb	Cd	Cu
					мг-экв/100 г		мг/100 г			-lg[Me]		
1	Урбостратозем	1,45	8,02	7,53	-	12,10	7,50	1,05	0,26	8,15	6,92	10,02
2	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	2,52	8,08	7,54	-	19,80	38,30	3,60	0,42	7,87	6,77	7,92
3	Квазизем торфяной	16,87	7,74	6,86	-	71,30	9,50	2,95	0,54	7,81	6,83	9,78
4	Урбостратозем	1,91	7,87	7,34	0,60	15,80	8,50	3,50	-	8,11	7,07	10,16
5	Урбостратозем	2,69	8,07	7,39		18,60	16,70	7,50	0,26	8,32	6,87	8,24
6	Урбостратозем	2,81	6,74	5,93	2,80	16,40	18,30	7,20	-	7,66	6,45	8,44
7	Урбостратозем	1,96	7,94	7,42	-	14,30	14,00	5,30	0,19	8,29	6,51	9,39
8	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	6,45	7,97	7,29	-	35,10	21,70	8,50	0,55	7,923	6,79	9,85
9	Урбостратозем	2,17	8,25	7,60	-	17,60	6,00	6,30	0,30	8,40	6,85	9,18
10	Литострат	0,84	8,28	7,60	-	20,80	15,70	3,50	0,26	8,37	6,97	8,65
11	Урбостратозем	1,64	8,17	7,63	-	21,90	30,90	14,80	0,35	7,84	6,79	10,27
12	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	5,56	7,82	7,07	-	24,10	16,80	13,80	0,30	8,15	6,81	9,32
13	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	7,32	7,58	6,90	-	35,20	8,00	14,30	0,363	8,18	6,43	10,06
14	Урбостратозем	1,56	8,00	7,32	-	14,30	16,20	7,60	0,26	7,88	6,39	10,45
15	Квазизем компостно-гумусовый	3,57	7,83	7,35	-	14,95	4,50	14,80	2,12	7,45	5,91	10,04
	Среднее (М)	3,95	7,89	7,25	1,7	23,49	15,51	7,68	0,34	8,03	6,69	9,45
	Ошибка среднего (m)	1,1	0,3	0,1	-	3,8	2,4	1,2	0,1	0,1	0,1	0,2

Таблица 4

Состояние тест-культуры, выращенной на почвах и ТПО в УПК на древнеаллювиальных песках (КУ-2)

№ №	Название почв и ТПО	Высота, мм		Масса, мг		Редокс- активность, мл <i>KJO₃</i> на 100 г (РА)	Высота	Масса	РА
		М	м	М	м	М	% относительно контроля		
1	Урбостратозем	33	0,9	15	0,6	422	73*	71*	55*
2	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	37	1,1	17	0,8	464	82*	81*	61*
3	Квазизем торфяной	34	1,2	15	0,6	679	75*	71*	89*
4	Урбостратозем	33	1,2	15	0,6	625	73*	71*	82*
5	Урбостратозем	35	1,4	15	0,6	687	78*	71*	90
6	Урбостратозем	38	0,8	17	0,6	625	84*	81*	82*
7	Урбостратозем	15	0,7	7	0,3	532	33*	33*	70*
8	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	43	1,8	20	0,9	500	95	95	66*
9	Урбостратозем	32	0,9	14	0,6	581	71*	67*	76*
10	Литострат	24	0,8	11	0,5	599	53*	52*	79*
11	Урбостратозем	32	0,9	15	0,6	685	71*	71*	90
12	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	33	0,9	14	0,6	651	73*	67*	86*
13	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	39	1,4	18	1,0	634	87*	86*	83*
14	Урбостратозем	34	0,9	15	0,7	668	75*	71*	88
15	Квазизем компостно-гумусовый	32	1,1	16	0,7	729	71*	76*	96*
16	Контроль	45	1,5	21	0,9	760	100	100	100

Примечание: * - существенные различия

Таблица 5

Свойства почв и ТПО в УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями (КУ-3)

№	Название почв и ТПО	C _{орг} , %	pH _{вод}	pH _{сол}	Н _{ГК}	ЕКО	К _{подв}	P ₂ O ₅ подв.	CO ₂ карб, %	Pb	Cd	Cu
					мг-экв/100 г		мг/100			-lg[Me]		
1	Урбостратозем	3,30	7,63	6,72	-	21,60	40,6	5,1	0,333	8,20	5,99	8,17
2	Урбостратозем	1,80	7,08	6,41	1,40	21,00	14,5	3,5	-	8,32	6,29	8,38
3	Урбостратозем	1,85	7,71	6,99	1,00	26,20	36,9	2,5	-	8,29	6,08	8,39
4	Урбостратозем	2,25	7,62	6,68	1,40	17,60	44,3	3,5	-	8,69	6,44	8,69
5	Квазизем торфяной	25,15	5,94	4,67	-	80,60	29,3	3,0	0,323	6,29	5,72	6,74
	Литострат	2,70	8,18	7,61	-	15,20	31,7	8,5	0,323	8,16	6,77	9,01
6	Урбостратозем	1,23	8,13	7,38	-	13,40	31,9	2,8	0,216	8,71	6,71	8,10
7	Квазизем компостно-гумусовый	12,52	7,38	6,78	-	56,20	17,7	0,35	0,5	7,81	6,47	8,72
8	Урбостратозем	1,50	7,73	6,89	1,12	24,90	29,9	3,0	-	7,37	5,55	6,85
9	Урбостратозем	2,80	7,43	6,75	-	20,40	25,0	6,2	0,235	7,66	5,91	7,99
10	Урбостратозем	1,53	7,15	6,12	-	21,60	10,5	3,0	0,196	7,49	6,04	8,17
11	Урбостратозем	2,30	7,92	7,24	-	21,60	33,2	9,5	0,304	8,42	6,30	8,38
12	Урбостратозем	3,53	7,84	7,24	-	21,50	35,7	10,5	0,284	8,29	6,21	7,77
13	Урбостратозем	2,42	7,31	6,36	1,91	28,40	19,7	6,3	-	8,06	6,40	7,36
14	Урбостратозем	3,41	8,12	7,35	-	17,50	18,8	13,8	0,372	9,01	6,71	7,64
15	Урбостратозем	3,32	7,63	6,72	-	21,60	40,6	5,1	0,333	8,20	5,99	8,17
	Среднее (М)	4,55	7,54	6,74	1,36	27,18	28	5,44	0,31	8,05	6,24	8,02
	Ошибка среднего (m)	1,6	0,1	0,2	0,2	4,6	2,6	0,9	0,3	0,2	0,1	0,7

Таблица 6

Состояние тест-культуры, выращенной на почвах и ТПО УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками (КУ-3)

№	Название почв и ТПО	Высота, мм		Масса, мг		Редокс- активность, мл KJO ₃ на 100 г (РА)	Высота	Масса	РА
		М	м	М	м	М	% относительно контроля		
1	Урбостратозем	33	0,9	15	0,6	422	73*	71*	55*
2	Урбостратозем	37	1,1	17	0,8	464	82*	81*	61*
3	Урбостратозем	34	1,2	15	0,6	679	75*	71*	89*
4	Урбостратозем	33	1,2	15	0,6	625	73*	71*	82*
5	Квазизем торфяной	35	1,4	15	0,6	687	78*	71*	90
6	Литострат	38	0,8	17	0,5	625	84*	81*	82*
7	Урбостратозем	15	0,7	7	0,3	532	33*	33*	70*
8	Квазизем компостно-гумусовый	43	1,9	20	0,9	500	95	95	66*
9	Урбостратозем	32	0,9	14	0,6	581	71*	67*	76*
10	Урбостратозем	24	0,8	11	0,5	599	53*	52*	79*
11	Урбостратозем	32	0,9	15	0,6	685	71*	71*	90
12	Урбостратозем	33	0,9	14	0,6	651	73*	67*	86*
13	Урбостратозем	39	1,4	18	1,0	634	87*	86*	83*
14	Урбостратозем	34	0,9	15	0,7	668	75*	71*	88
15	Урбостратозем	32	1,09	16	0,7	729	71*	76*	96*
16	Контроль	45	1,5	21	0,9	760	100	100	100

Примечание: * - существенные различия

Таблица 7

Свойства почв в УПК на аллювиальных породах (КУ-4)

№	Название почв	C _{орг} , %	pH _{вод}	pH _{сол}	H _{гк}	ЕКО	К _{подв}	P ₂ O ₅ подв.	CO ₂ карб, %	Pb	Cd	Cu
					мг-экв/100 г		мг/100			-lg[Me]		
1	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	7,90	7,67	6,93	0,90	35,70	21,20	4,10	-	8,33	6,92	9,29
2	Урбостратозем	0,72	7,38	6,49	0,90	10,20	8,00	1,30	-	8,58	6,29	9,52
3	Урбостратозем	3,30	8,20	7,51	-	45,50	9,00	0,40	0,66	8,51	6,47	9,66
4	Урбостратозем	4,80	7,75	7,18	-	50,00	31,60	0,30	0,35	8,46	5,93	9,50
5	Урбостратозем	3,27	7,74	7,01	-	20,00	19,70	11,60	0,14	8,36	6,17	9,22
6	Урбостратозем	1,16	8,06	7,42	-	20,00	17,70	8,80	0,18	8,39	6,81	9,46
7	Урбостратозем	2,64	8,07	7,42	-	22,00	17,20	3,50	0,27	8,35	6,79	8,97
8	Урбостратозем	3,10	8,13	7,48	-	27,50	4,00	0,05	0,48	9,24	6,67	10,17
9	Урбостратозем	2,40	8,14	7,33	-	23,50	27,20	10,60	0,20	8,19	6,82	9,49
10	Урбостратозем торфяно эутрофированный	11,30	7,74	6,68	1,50	50,30	25,00	4,70	-	8,92	6,83	9,73
11	Урбостратозем	4,00	7,98	7,27	-	22,50	19,20	5,70	0,24	8,52	6,46	10,08
12	Урбостратозем	3,20	7,90	7,31	-	20,00	18,70	5,70	0,16	8,53	6,84	9,04
13	Урбостратозем	2,60	8,10	7,46	-	23,00	14,50	0,25	0,25	8,79	6,97	8,75
14	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	10,30	7,90	7,23	-	24,50	16,70	5,40	0,22	8,63	6,09	10,07
15	Урбостратозем	4,70	7,27	6,43	1,80	35,10	42,00	13,70	-	7,19	6,50	8,94
16	Урбостратозем	5,30	7,70	7,13	-	39,00	29,60	0,35	0,16	7,59	6,02	8,27
17	Урбостратозем	3,60	7,96	7,27		29,00	16,20	11,60	0,33	7,37	6,47	8,25
	Среднее (М)	4,37	7,86	7,15	1,27	29,3	19,85	5,18	0,28	8,35	6,53	9,32
	Ошибка среднего (m)	0,7	0,1	0,1	0,2	2,8	2,3	1,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Таблица 8

Состояние тест-культуры, выращенной на почвах УПК на аллювиальных породах (КУ-4)

№	Название почв	Высота, мм		Масса, мг		Редокс-активность, мл <i>KJO₃</i> на 100 г (РА)	Высота	Масса	РА
		М	м	М	м	М	% относительно контроля		
1	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	34	1,5	14	0,7	229	89	70	114
2	Урбостратозем	30	0,6	14	0,5	193	79	70	96
3	Урбостратозем	36	1,1	16	0,5	111	95	80	55
4	Урбостратозем	38	1,2	17	0,8	154	100	85	77
5	Урбостратозем	35	1,4	17	0,9	158	92	85	79
6	Урбостратозем	38	0,9	17	0,6	151	100	85	75
7	Урбостратозем	38	0,9	17	0,6	179	100	85	89
8	Урбостратозем	38	1,9	18	1,0	190	100	90	95
9	Урбостратозем	31	0,9	15	0,6	190	81	75	95
10	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	46	1,9	21	1,3	162	121	105	81
11	Урбостратозем	28	0,8	14	0,5	174	74	70	87
12	Урбостратозем	34	1,3	15	0,8	131	89	75	65
13	Урбостратозем	30	0,8	13	0,6	221	79	65	110
14	Урбостратозем торфяно-эутрофированный	33	1,2	14	0,7	158	87	70	79
15	Урбостратозем	42	1,1	21	0,8	151	100	105	75
16	Урбостратозем	39	1,1	18	0,7	185	103	90	92
17	Урбостратозем	31	1,2	15	0,7	194	82	75	97
18	Контроль	38	1,3	20	1,1	200	100	100	100

Примечание: * - существенные различия

Таблица 9

Коэффициенты корреляции между показателями состояния кресс-салата и свойствами почв и ТПО в урбопедакомплексах

Показатели кресс-салата	C	ЕКО	P ₂ O ₅ подв.	K _{подв.}	pH _{вод}	pH _{сол}	Pb	Cd	Cu
Высота	0,35	0,40	-0,16	0,39	-0,36	-0,38	-0,06	-0,23	-0,41
Масса	0,35	0,38	-0,13	0,44	-0,42	-0,43	-0,19	-0,37	-0,48

Примечание. Полужирным выделены достоверные коэффициенты корреляции

Приложение 9

Таблица 1

Свойства почв в ТПК на элювиально-делювиальных суглинках и выходах коренных пород

Почва	Глубина, см	C _{орг} , %	pH _{вод}	pH _{сол}	Емкость катионного обмена (ЕКО)	Гидролитическая кислотность) Н _{ГК}	P ₂ O ₅ подв. мг/100 г	K _{подв} мг/100г	CO ₂ %	Гипс, %
					мг-экв/100 г					
Дерново-глубокоподзолистая тяжелосуглинистая	0-15	1,5	4,52	3,86	59,10	9,64	0,7	7,0	-	-
	25-40	-	5,23	3,74	-	-	-	-	-	-
	47-60	-	4,88	3,55	-	-	-	-	-	-
	70-80	-	4,63	3,53	-	-	-	-	-	-
	90-100	-	4,83	3,65	-	-	-	-	-	-
	110-120	-	5,12	3,73	-	-	-	-	-	-
Пелозем гумусовый тяжелосуглинистый	0-15	1,62	6,26	5,22	69,87	2,75	5,0	23,5	-	-
Солончак вторичный хлоридный натриево-калиевый тяжелосуглинистый	0-15	3,51	6,13	5,63	64,23	4,05	13,5	850,0	-	-
Серогумусовая тяжелосуглинистая почва	0-15	2,43	4,78	3,84	70,14	10,00	1,8	1,5	-	-
Серогумусовая тяжелосуглинистая почва	0-15	2,75	5,78	4,81	51,40	5,40	4,5	15,0	-	-
Серогумусовая остаточно карбонатная тяжелосуглинистая почва	0-15	3,01	7,13	7,05	29,50	-	10,0	27,5	0,22	-
Серогумусовая остаточно карбонатная тяжелосуглинистая почва	0-15	3,13	6,58	6,24	28,50	-	24,3	30,0	0,14	0,86

Таблица 2

Содержание водорастворимых ионов в верхнем слое почв и ТПО в ТПК на элювиально-делювиальных суглинках и выходах коренных пород

Почва	Глубина, см	мг-экв/100 г почвы						Сумма солей (%)
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
Дерново-глубокоподзолистая тяжелосуглинистая	0-15	1,88	0	1,50	0	0,09	0,04	0,13
Пелозем гумусовый тяжелосуглинистый	0-15	0,57	0	0,42	0,13	0,11	0,10	0,05
Солончак вторичный хлоридный натриево-калиевый тяжелосуглинистый	0-15	17,74	0	0,36	0,22	4,35	9,62	1,18
Серогумусовая тяжелосуглинистая почва	0-15	0,96	0	0,45	0,19	0,15	0,05	0,06
Серогумусовая тяжелосуглинистая почва	0-15	0,90	0	0,35	0,13	0,09	0,06	0,05
Серогумусовая остаточно карбонатная тяжелосуглинистая почва	0-15	0,62	0	0,79	0,08	0,08	0,15	0,09
Серогумусовая остаточно карбонатная тяжелосуглинистая почва	0-15	0,45	0	0,60	0,09	0,07	0,09	0,06

Таблица 3

Состояние тест-культуры, выращенной на почвах в ТПК на элювиально-делювиальных суглинках и выходах коренных пород

№	Название почв и ТПО	Высота, мм		Масса, мг		Редокс-активность, мл KJO_3 на 100 г (РА)	Высота	Масса	РА
		М	м	М	м	М	% относительно контроля		
1	Дерново-глубокоподзолистая тяжелосуглинистая	26	0,9	12	0,5	365	62*	60*	77*
2	Пелозем гумусовый тяжелосуглинистый	25	2,1	9	0,5	774	59*	45*	163*
3	Солончак вторичный хлоридный натриево-калиевый тяжелосуглинистый	0	-	0	-	0	0	0	0
4	Серогумусовая тяжелосуглинистая почва	38	1,3	17	0,6	347	90	85*	73*
5	Серогумусовая тяжелосуглинистая почва	35	0,9	15	0,5	464	83*	75*	98
6	Серогумусовая остаточная карбонатная тяжелосуглинистая почва	29	1,4	13	0,7	625	69*	65*	132*
7	Серогумусовая остаточная карбонатная тяжелосуглинистая почва	39	1,1	18	0,7	500	93	90	106

Примечание: * - существенные различия

Таблица 4

Свойства почв и ТПО в ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях и двучленных породах

Название почв и ТПО	Глубина, см	C _{орг} , %	pH _{вод}	pH _{сол}	ЕКО	Н _{ГК}	P ₂ O ₅ подв.	K _{подв}	CO ₂ карб., %	Гипс, %
					мг-экв/100 г		мг/100 г			
Литострат остаточно-карбонатный глинистый	0-15	0,87	7,59	7,04	57,0	-	0,33	400,0	0,43	0,15
Серогумусовая остаточно карбонатная суглинисто-глинистая почва	0-15	2,11	6,84	7,01	60,5	-	6,47	44,5	0,38	0,02
Серогумусовая остаточно карбонатная супесчаная почва	0-15	2,25	6,93	6,84	24,0	0,83	5,43	60,5	0,12	-
Серогумусовая остаточно карбонатная супесчаная почва	0-15	1,81	6,85	6,89	69,3	0,81	9,00	55,0	0,14	-
	25-35	-	7,16	6,63	-	-	-	-	0,23	-
Солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый по литострату супесчаному	0-15	0,84	7,17	6,66	26,6	0,41	4,50	6,5	0,69	67,80
Литострат глееватый песчаный остаточно-карбонатный	0-15	0,10	7,35	6,87	1,3	0,36	0,83	19,0	0,09	-
	35-40	-	8,05	6,81	-	-	-	-	0,09	-

Продолжение таблицы 4

Название почв	Глубина, см	C _{орг} , %	pH _{вод}	pH _{сол}	ЕКО	Н _{ГК}	P ₂ O ₅ подв.	K _{подв}	CO ₂ карб., %	Гипс, %
					мг-экв/100 г		мг/100 г			
Серогумусовая остаточно-карбонатная суглинисто-глинистая почва	0-15	1,71	7,43	6,88	76,0	-	0,30	19,5	0,72	1,03
Солончак вторичный хлоридный натриевый по серогумусовой глееватой суглинистой почве	0-15	2,01	7,90	7,62	47,1	-	0,33	8,0	0,90	0,13
	15-23	-	8,03	7,40	-	-	-	-	0,29	-
	28-38	-	6,60	6,97	-	-	-	-	0,07	0,04
	65-75	-	6,70	6,25	-	-	-	-	-	-
	95-105	-	6,61	6,28	-	-	-	-	-	-
Серогумусовая супесчаная почва	0-15	1,56	6,90	7,01	12,4	0,61	3,90	33,0	0,09	1,11
	15-23	-	7,31	6,43	-	-	-	-	0,07	1,55
	38-48	-	7,14	6,47	-	-	-	-	0,09	1,01
	60-70	-	8,17	6,60	-	-	-	-	0,22	1,72
Серогумусовая супесчаная почва	0-15	1,44	6,32	5,08	12,7	2,51	3,57	25,0	-	-
Серогумусовая суглинистая остаточно-карбонатная почва	0-15	1,70	8,10	7,19	62,5	-	5,10	22,5	0,46	1,37
Серогумусовая суглинистая остаточно-карбонатная почва	0-15	2,10	8,02	7,26	59,4	-	12,33	220,0	0,38	0,13

Таблица 5

Содержание водорастворимых ионов в верхнем слое почв и ТПО в ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях и двучленных породах

Почва	Глубина, см	мг-экв/100 г почвы						Сумма солей (%)
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
Литострат остаточно-карбонатный глинистый	0-15	1,88	0,1	1,40	0	1,43	0,32	0,22
Серогумусовая остаточно карбонатная суглинисто-глинистая почва	0-15	1,88	0	1,30	0	0,22	0,22	0,17
Серогумусовая остаточно карбонатная супесчаная почва	0-15	0,57	0	0,45	0,05	0,09	0,27	0,07
Солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый по литострату супесчаному	0-15	29,38	23,7	24,00	7,50	21,74	0,10	3,30
Литострат глееватый песчаный остаточно-карбонатный	0-15	0,45	0	0,11	0,03	0,11	0,17	0,03
Серогумусовая остаточно-карбонатная суглинисто-глинистая почва	0-15	0,51	0,1	0,73	0,10	0,28	0,19	0,10
Солончак вторичный хлоридный натриевый по серогумусовой глееватой суглинистой почве	0-15	81,36	0	1,45	0,14	58,70	0,13	4,41
Серогумусовая супесчаная почва	0-15	1,25	0	0,39	0,12	0,16	0,22	0,10
Серогумусовая супесчаная почва	0-15	2,54	0	0,33	0,20	1,30	0,38	0,18
Серогумусовая суглинистая остаточно-карбонатная почва	0-15	1,20	0	0,67	0,24	0,14	0,01	0,11
Серогумусовая суглинистая остаточно-карбонатная почва	0-15	1,10	0	0,85	0,25	0,19	0,01	0,15

Таблица 6

Состояние тест-культуры, выращенной на почвах и ТПО в ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях и двучленных породах

№	Название почв и ТПО	Высота, мм		Масса, мг		Редокс-активность, мл KJO_3 на 100 г (РА)	Высота	Масса	РА
		М	м	М	м	М	% относительно контроля		
1	Литострат остаточно-карбонатный глинистый	30	1,0	14	0,5	442	71*	70*	93
2	Серогумусовая остаточно карбонатная суглинисто-глинистая почва	34	1,2	15	0,6	410	81*	75*	87
3	Серогумусовая остаточно карбонатная супесчаная почва	35	1,1	17	0,7	714	83*	85*	99
4	Серогумусовая остаточно карбонатная супесчаная почва	33	1,0	15	0,7	404	78*	75*	56*
5	Солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый по литострату супесчаному	0	0	0	0	0	-	-	-
6	Литострат глееватый песчаный остаточно-карбонатный	31	0,9	15	0,7	703	74*	75*	98
7	Серогумусовая остаточно-карбонатная суглинисто-глинистая почва	36	0,9	16	0,6	687	86*	80*	96
8	Солончак вторичный хлоридный натриевый карбонатсодержащий по серогумусовой глееватой суглинистой почве	0	0	0	0	0	-	-	-
9	Серогумусовая супесчаная почва	34	0,9	15	0,6	634	81*	75*	88
10	Серогумусовая супесчаная почва	36	1,1	19	1,1	214	86*	95	30*
11	Серогумусовая суглинистая остаточно-карбонатная почва	32	0,8	14	0,5	516	76*	70*	72*
12	Серогумусовая суглинистая остаточно-карбонатная почва	39	1,2	19	0,8	705	93	95	98

Примечание: * - существенные различия

Таблица 7

Свойства почв и ТПО ТПК на аллювиальных породах

Название почв	Глубина, см	C _{орг} , %	pH _{вод}	pH _{сол}	ЕКО	Н _{ГК}	P ₂ O ₅ подв.	K _{подв}	CO ₂ карб., %	Гипс, %
					мг-экв/100 г		мг/100			
Солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый по аллювиальной перегнойно-глеевой суглинистой почве	0-3	5,95	5,90	5,84	71,00	2,51	15,75	550,0	-	-
	3-15	5,84	6,75	6,70	37,30	1,21	0,80	150,0	0,19	8,50
	15-70	-	5,85	5,80	-	-	-	-	-	-
Аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная натриево-магниев-кальциевая солончаковая почва	0-15	5,42	4,69	5,42	82,70	13,30	3,50	27,0	-	-
	20-30	-	4,47	4,48	-	-	-	-	-	-
	32-42	-	5,02	4,78	-	-	-	-	-	-
	50-60	-	4,16	3,97	-	-	-	-	-	-
	70-80	-	4,68	4,72	-	-	-	-	-	-
	95-105	-	5,18	5,22	-	-	-	-	-	-
Солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый по аллювиальной гумусовой глеевой почве	0-15	2,88	7,15	7,06	36,30	-	1,07	12,5	0,26	-
	11-21	1,14	7,52	7,33	36,30	-	3,33	9,5	0,25	-
	27-40	-	7,93	6,89	-	-	-	-	0,24	-
	60-75	-	7,17	6,60	-	-	-	-	0,18	1,37
	100-115	-	7,13	6,65	-	-	-	-	0,29	1,38

Продолжение таблицы 7

Название почв	Глубина, см	C _{орг} , %	pH _{вод}	pH _{сол}	ЕКО	Н _{ГК}	P ₂ O ₅ подв.	K _{подв}	CO ₂ карб., %	Гипс, %
					мг-экв/100 г		мг/100 г			
Аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная магниев-кальциев-натриевая почва	0-15	1,44	6,47	5,89	10,10	2,43	1,50	33,50	-	-
Аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная натриево-магниев-кальциевая солончаковая почва	0-15	9,80	5,59	5,19	36,20	7,70	3,78	55,00	-	-
Аллювиальная гумусовая хлоридная натриевая солончаковая почва	0-15	1,70	4,31	3,38	64,00	9,40	2,50	15,00	-	-
Солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый по аллювиальной гумусовой глеевой почве	0-15	2,90	7,72	7,16	25,20	-	1,77	50,00	0,24	1,55
Солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый по аллювиальной гумусовой глеевой почве	0-15	0,90	8,20	7,59	29,60	-	14,33	50,00	0,29	0,86
Глеезем хлоридный натриевый солончаковый	0-15	5,47	3,98	3,51	60,00	10,53	6,75	150,00	-	-

Таблица 8

Содержание водорастворимых ионов в верхнем слое почв и ТПО в ТПК на аллювиальных породах

Почва	Глубина, см	мг-экв/100 г почвы						Сумма солей (%)
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
Солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый по аллювиальной перегнойно-глеевой суглинистой почве	0-15	406,20	168,91	163,00	60,00	108,70	243,59	38,97
Аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная натриево-магниевое-кальциевая солончаковая почва	0-15	9,32	0	3,80	1,66	1,74	0,23	0,50
Солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый по аллювиальной гумусовой глеевой почве	0-15	17,29	3,81	3,17	0,39	18,48	0,10	1,38
Аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная магниевое-кальциевое-натриевая почва	0-15	0,57	0	0,22	0,06	0,12	0,18	0,05
Аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная натриево-магниевое-кальциевая солончаковая почва	0-15	7,00	0	1,60	1,51	3,26	0,08	0,39
Аллювиальная гумусовая хлоридная натриевая солончаковая почва	0-15	13,50	0	1,33	1,26	6,52	0,17	0,70
Солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый по аллювиальной гумусовой глеевой почве	0-15	15,51	5,05	0,77	1,07	19,02	0,49	1,34
Солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый по аллювиальной гумусовой глеевой почве	0-15	18,33	1,35	1,16	0,85	17,94	0,46	1,24
Глеезем хлоридный натриевый солончаковый	0-15	9,21	0	0,45	0,22	5,22	0,82	0,51

Таблица 9

Состояние тест-культуры, выращенной на почвах и ТПО в ТПК на аллювиальных породах

№	Название почв и ТПО	Высота, мм		Масса, мг		Редокс- активность, мл <i>KJO₃</i> на 100 г (РА)	Высота	Масса	РА
		М	м	М	м	М	% относительно контроля		
1	Солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый по аллювиальной перегнойно-глеевой суглинистой почве	0	0	0	0	0	-	-	-
2	Аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная натриево-магниевый-кальциевая солончаковая почва	29	1,0	16	0,8	333	69*	80*	70*
3	Солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый по аллювиальной гумусовой глеевой почве	0	0	0	0	0	-	-	-
4	Аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная магниевый-кальциевый-натриевая почва	38	1,1	17	0,7	524	90	85	73
5	Аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная натриево-магниевый-кальциевая солончаковая почва	37	1,3	20	1,1	363	88*	100	51
6	Аллювиальная гумусовая хлоридная натриевая солончаковая почва	0	0	0	0	0	-	-	-
7	Солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый по аллювиальной гумусовой глеевой почве	0	0	0	0	0	-	-	-
8	Глеезем хлоридный натриевый солончаковый	0	0	0	0	0	-	-	-

Примечание: * - существенные различия

Таблица 10

Коэффициенты корреляции между показателями состояния кресс-салата и свойствами почв и ТПО технопедокомплексов

Показатели кресс-салата	pH _{вод}	pH _{сол}	C _{орг}	ЕКО	Нгк	Сумма обменных оснований	P ₂ O ₅ подв.	К подв.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Сумма солей
Высота	0,21	0,21	-0,19	-0,32	-0,05	-0,32	-0,41	-0,54	-0,08	-0,52	-0,52	-0,52	-0,52	-0,50	-0,35	-0,51
Масса	0,18	0,22	-0,10	-0,34	0,00	-0,35	-0,41	-0,53	-0,08	-0,51	-0,51	-0,50	-0,50	-0,49	-0,34	-0,50
Редокс- активность	0,26	0,16	-0,33	-0,14	-0,14	-0,10	-0,33	-0,47	-0,15	-0,45	-0,44	-0,44	-0,44	-0,43	-0,30	-0,44

Примечание. Полужирным выделены достоверные коэффициенты корреляции