

На правах рукописи

МИТРАКОВА Наталья Васильевна

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

03.02.08 – экология (биология)

**Автореферат**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата биологических наук

**Тюмень 2019**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

**Научный руководитель:** доктор биологических наук, профессор,  
заведующая кафедрой физиологии  
растений и микроорганизмов ФГБОУ  
ВО «Пермский государственный  
национальный исследовательский  
университет»  
**Еремченко Ольга Зиновьевна**

**Официальные оппоненты:** **Терещенко Наталья Николаевна,**  
доктор биологических наук, главный  
научный сотрудник Сибирского НИИ  
сельского хозяйства и торфа – филиала  
Сибирского федерального научного  
центра агробиотехнологии РАН

**Лаптева Елена Морисовна,** кандидат  
биологических наук, доцент,  
руководитель группы генезиса,  
географии и экологии почв Института  
биологии Коми НЦ УрО РАН  
**ФГБОУ ВО «Тюменский  
ведущая организация: индустриальный университет»**

Защита диссертации состоится 9 апреля 2019 г. в 13-30 на заседании диссертационного совета Д 999.114.02 при ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья» по адресу: 625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7

Телефон/факс: 8(3452) 29-01-52, e-mail: [dissgausz@mail.ru](mailto:dissgausz@mail.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного университета Северного Зауралья и на сайте университета <http://www.tsaa.ru>

Автореферат разослан «7» февраля 2019 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор с.-х. наук

Турсумбекова Галина Шалкаровна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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 (pH, 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 объём 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.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава 1. Обзор литературы**

В главе рассмотрены особенности почвенного покрова природно-техногенных ландшафтов. Изложены современные подходы к классификации преобразованных почв и техногенных поверхностных образований (ТПО); описаны их разнообразие и свойства. Дано общее представление о биологической активности почв; рассмотрены методы фитотестирования.

### **Глава 2. Условия, объекты и методы исследований**

В Пермском крае в связи с неоднородностью рельефа, почвообразующих пород и растительности, наблюдается значительное разнообразие почв (Коротаев, 1962; Карта почвенно-экологического..., 1997; Еремченко и др., 2016).

Для разработки метода фитотестирования были использованы образцы природных почв: из верхних горизонтов чернозема глинисто-иллювиального, темно-серой и серой почв, дерново-подзолистой почвы, псаммозема гумусового.

Почвенный покров города Перми характеризуется сложной мозаичной структурой, обусловленной частой сменой почв и почвоподобных образований. И.Е. Шестаков и др. (2014) рекомендовали выделять урбопедокомплексы (УПК) – комбинации почв и техногенных поверхностных образований в пределах одной функциональной зоны на одинаковых почвообразующих породах. Объектами наших исследований в селитебных районах были поверхностные почвенные горизонты (слои) в 4-х ключевых участках (КУ), расположенных в УПК на элювиально-делювиальных суглинках (КУ-1), УПК на песчано-супесчаных породах древнеаллювиального происхождения (КУ-2), в УПК на маломощных делювиальных суглинках, подстилаемых песками и супесями (КУ-3), в УПК на аллювиальных породах (КУ-4). 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).

Промышленное освоение запасов калийных солей Верхнекамского месторождения началось в 1927 г. 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, вторичных почв и ТПО в однородных элементах рельефа, на одинаковых почвообразующих породах при сходном техногенном воздействии. Объектами исследований были почвы и солончаки в ТПК на

элювиально-делювиальных суглинках, в ТПК на древнеаллювиальных песках и двучленных породах (пески и супеси на элювии пермских пород), в ТПК на аллювиальных породах (испытывающих воздействие подотвальных соленых вод и вод из рассолоподъемных скважин). 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.

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, предоставленные научным руководителем.

Методы исследований. Метод фитотестирования почв основан на реакции кресс-салата *Lepidium sativum* L. Кресс-салат выращивали на почвенных пробах в течение 10 дней, 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. Тест-контролем служили растения на вермикулите с раствором Кнопа, у которых высота и масса были выше на 30 %, по сравнению с растениями, выращенными на плодородной почве – черноземе. Предложено при снижении показателей развития кресс-салата относительно тест-контроля на 10-30% состояние почвы (почвогрунта) считать удовлетворительным; при снижении высоты и массы на 30–50% и повышении редокс-активности на 30–50% – неудовлетворительным; а при уменьшении высоты и массы более чем на 50% и увеличении редокс-активности более 50% – токсичным и экологически опасным (патент на изобретение № 2620555. 2016 г.).

Для изучения воздействия тяжелых металлов на тест-культуру природные почвы были загрязнены нитратом свинца из расчета 1000 мг Pb на кг почвы, сульфат кадмия из расчета 500 мг Cd на кг почвы.

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:  $Na^+$  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 на иономере; активность дыхания – адсорбционным методом И.Н. Шаркова (1984); активность каталазы – газометрическим методом.

В исследованиях применяли 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**

Эксперименты по фитотестированию продемонстрировали существенную ответную реакцию кресс-салата на содержание гумуса, реакцию почвенной среды, обеспеченность доступными формами калия и фосфора в природных почвах. Так, зависимость общей массы кресс-салата (г) от содержания гумуса (%) описывает уравнение:  $y = 0,676 + 0,055 x$ ; коэффициент корреляции  $R = 0,64$ ; уровень значимости нулевой гипотезы  $p = 0,021$ ; зависимость общей массы кресс-салата (г) от  $\text{pH}_{\text{сол}}$  – уравнение:  $y = -0,98 + 0,46 x$ ;  $R = 0,84$ ;  $p = 0$ .

На состояние кресс-салата прямо пропорционально повлияли подвижные фосфаты и калий. Так, зависимость общей массы кресс-салата от содержания подвижного фосфора в темно-серой почве выражена уравнением:  $y = 8,8 + 0,9 * x$ ;  $R = 0,84$ ;  $p = 0,004$ ; связь средней массы растений с содержанием подвижного калия – уравнением:  $y = -5,1 + 2,4 * x$ ;  $R = 0,95$ ;  $F = 25,9$ ;  $p = 0,0001$ .

В эксперименте по загрязнению природных почв прослежено повышение подвижности металлов до  $-\lg[\text{Cd}] = 3,1$  и  $-\lg[\text{Pb}] = 4,6$ . Уровень их подвижности зависел от свойств почв: кислотности, содержания гумуса и состава обменных оснований. Так, подвижность кадмия ( $-\lg[\text{Cd}]$ ) возрастала с усилением кислотности ( $\text{pH}_{\text{сол}}$ ):  $y = -0,85 + 1,207 x$ ;  $R = 0,94$ ;  $p = 0$ , подвижность свинца:  $y = 2,95 + 0,59 x$ ;  $R = 0,57$ ;  $p = 0,005$ . Зависимость подвижности Cd от содержания гумуса (%) представлена уравнением:  $y = 3,104 + 0,182 x$ ;  $R = 0,80$ ;  $p = 0$ .

Активность каталазы была чувствительным показателем на подвижность кадмия ( $R = 0,85$ ); интенсивность выделения углекислого газа («дыхание») слабо зависела от его подвижности. Эти показатели биохимической активности не коррелировали с подвижностью Pb.

В результате фитотестирования установлена отрицательная сильная связь высоты и массы кресс-салата от подвижности Cd и Pb ( $R = 0,76-0,84$ ) в загрязненных почвах.



#### Глава 4. Оценка биологической активности и токсичности городских почв и техногенных поверхностных почвенных образований

В урбопедокомплексах жилых районов преобладали урбостратоземы; формированию урбостратоземов торфяно-эутрофированных почв способствует отсыпка (и неоднократная) на поверхность низинного торфа. В квазиземах торфяных «свежий» органогенный слой характеризуется строением и свойствами низинного торфа. В квазиземах компостно-гумусовый слой гумифицирован и обогащен минеральным веществом.

Поверхностные почвенные слои отличались крайней неоднородностью свойств. Рассмотрим эту изменчивость на примере УПК на элювиально-делювиальных суглинках (КУ-1). Содержание органического углерода в почвах КУ-1 варьировало значительно (рис. 1): в урбостратоземах – 0,7–2,9%, в урбостратоземов торфяно-эутрофированных – 3,1%–8,9%, в квазиземах – 10,7–27,3%.

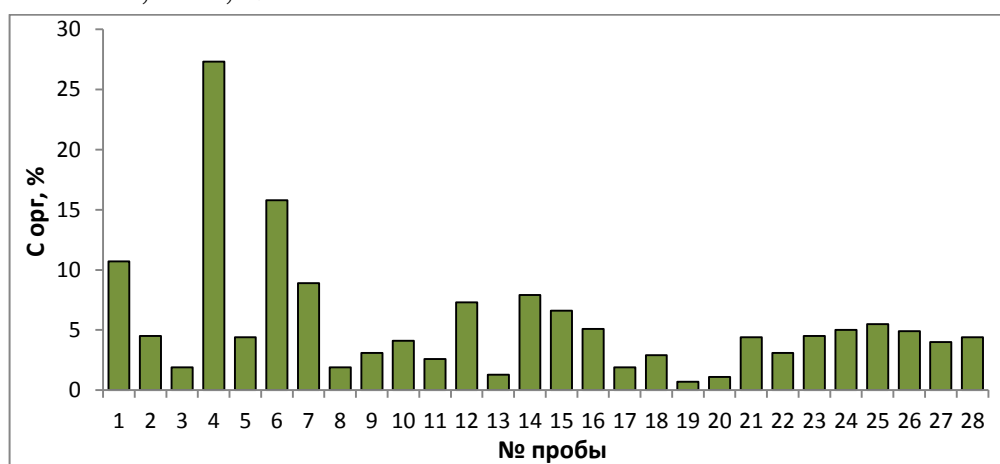


Рис. 1 – Содержание органического углерода ( $C_{\text{орг}}$ , %) в верхних почвенных горизонтах УПК на элювиально-делювиальных суглинках.

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 пределах 4,64–8,08 pH (рис. 2), преобладала нейтральная и слабощелочная среда. Только в квазиземах торфяной слой характеризовался кислой реакцией среды.

Поверхностные почвенные горизонты характеризовались средней и высокой обеспеченностью подвижными фосфатами (4,2–9 мг/100 г) и калием (9,4–51,2 мг/100 г).

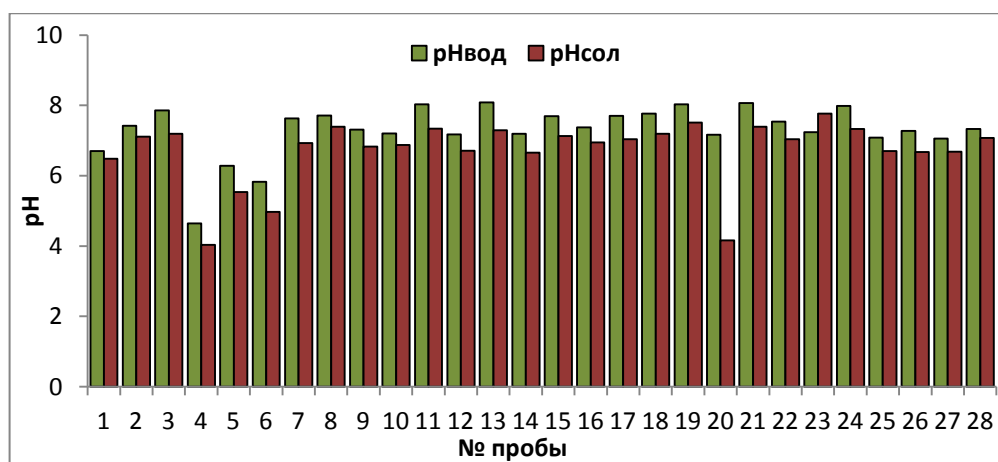


Рис. 2 – Величина pH в верхних почвенных горизонтах УПК на элювиально-делювиальных суглинках

Подвижность кадмия, свинца и меди (рис. 3), как правило, не превышала порог ранее установленной токсичности ( $-\lg [\text{Pb}, \text{Cd}, \text{Cu}] > 6$ ); наиболее подвижным был кадмий. Следовательно, несмотря на общую тенденцию аккумуляции тяжелых металлов в почвах города (Еремченко и др., 2016), их подвижность в некислой среде остается низкой.

Средняя активность каталазы в поверхностных почвенных слоях разных урбопедакомплексов жилых районов г. Перми свидетельствует о бедности почв этим ферментом.

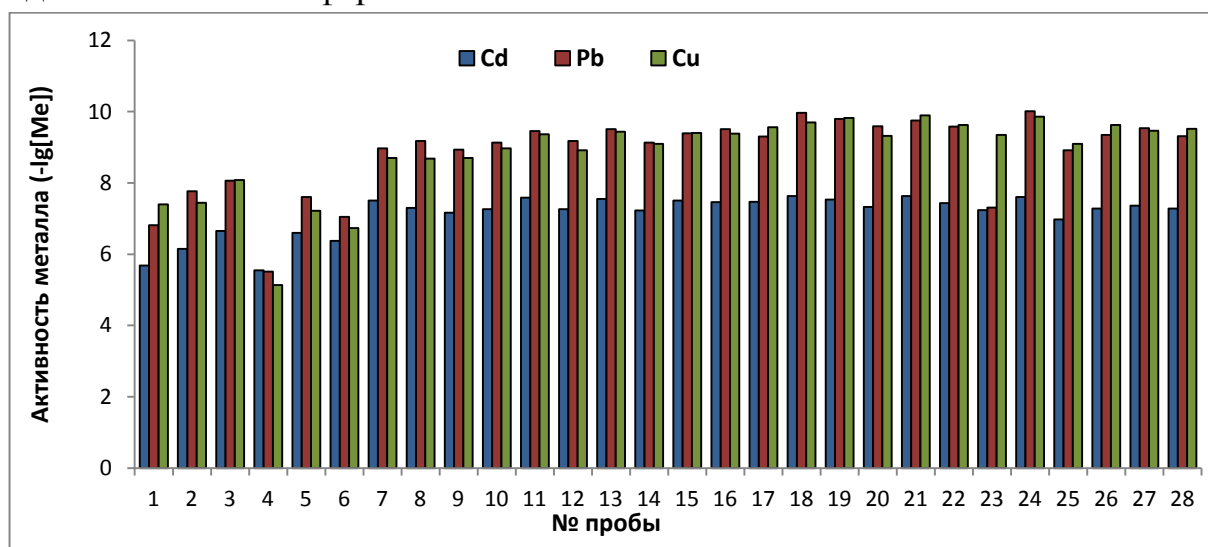


Рис. 3 – Подвижность металлов в верхних почвенных горизонтах УПК на элювиально-делювиальных суглинках

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. 4). Однако на 11% почвенных проб высота кресс-салата была понижена на 31-36% и на 33% проб масса растений понижена на 31-55%. На токсичность почв указало повышение редокс-активности на 40-75% относительно тест-контроля. Таким образом, около

третьей части проб из этой части жилого района характеризовались неудовлетворительным экологическим состоянием и токсичностью.

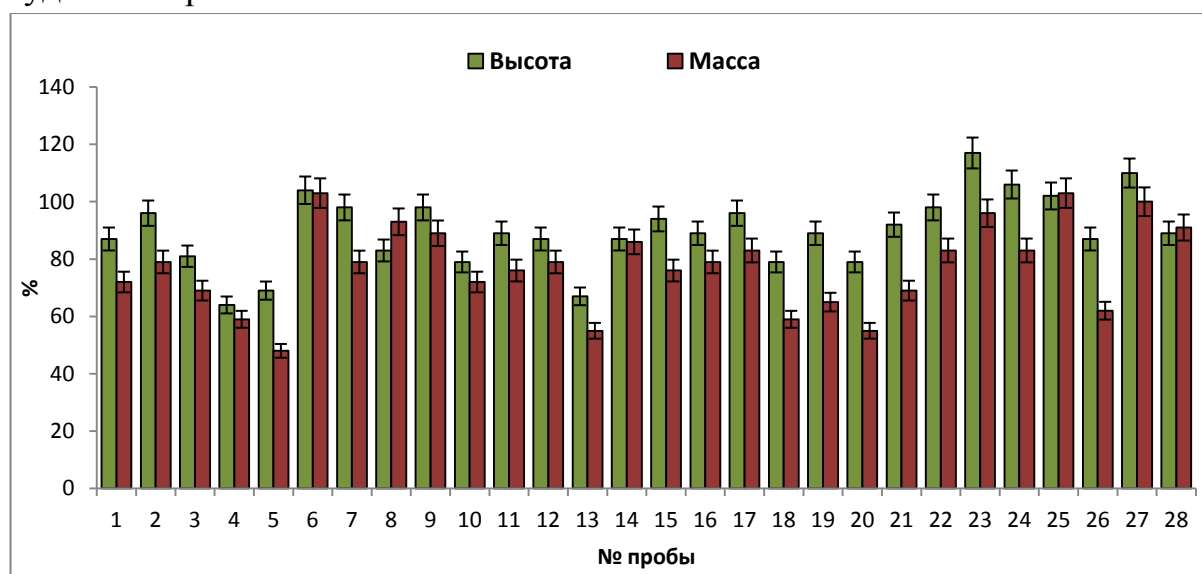


Рис. 4 – Высота и масса тест-культуры, выращенной на пробах из УПК на элювиально-делювиальных суглинках, % от тест-контроля

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 (КУ-2, рис. 5). Относительно лучшее состояние у почв и квазиземов в УПК на маломощном делювии, подстилаемом песками и супесями (КУ-3), что связано с распространением малоэтажной застройки и окультуриванием почв на приусадебных участках.

Повышенная редокс-активность (в среднем на 10-30%) проявилась у растений на почвенных пробах КУ-1 из относительно старого района (рис. 6). Это позволяет считать почвы умеренно токсичными.

С высотой и массой тест-культуры в равной степени положительно коррелировали свойства почв: органический углерод –  $R=0,35$ , ёмкость катионного обмена –  $R=0,40$ , содержание подвижного калия –  $R=0,39-0,44$ ). Тест-культура отрицательно реагировала на щелочность почвенной среды ( $R=-0,36-0,42$ ). Положительная реакция растений на подвижность кадмия и меди, возможно, обусловлена опосредованным воздействием менее щелочной почвенной среды, в которой подвижность металлов слегка усиливалась. Получена средняя по силе зависимость между активностью каталазы, высотой и массой растений ( $R=0,44-0,51$ ).

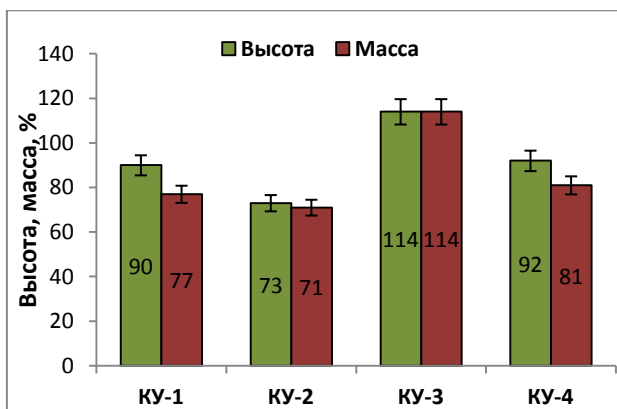


Рис. 5 – Высота и масса тест-культуры в почвах и ТПО ключевых участков

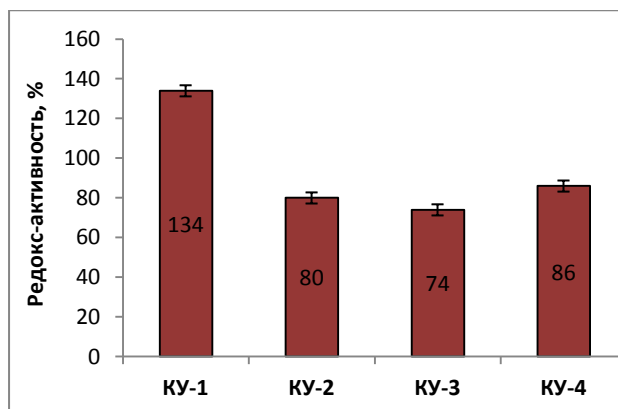


Рис.6 – Редокс-активность в почвах и ТПО ключевых участков

## Глава 5. Оценка биологической активности и токсичности почв и техногенных поверхностных образований зоны воздействия солеотвалов и шламохранилищ

Основными компонентами технопедокомплексов на водоразделах и камских террасах с солеотвалами и шламохранилищами являются вторичные серогумусовые почвы и литостраты разного гранулометрического состава, вторичные солончаки, а также почвы природного комплекса. Технопедокомплексы речных пойм, находящиеся под влиянием соленых вод, включают аллювиальные почвы, в разной степени засоленные, и вторичные солончаки.

Свойства поверхностных почвенных горизонтов в технопедокомплексах зоны воздействия солеотвалов и шламохранилищ варьировали в значительной степени. На рис. 7–12 продемонстрированы их изменения в ТПК на аллювиальных породах. Из-за природных особенностей комплекса аллювиальных почв содержание органического углерода варьировало от очень низкого (0,9%) и до высокого (9,8%) уровня (рис. 7).

Реакция почвенной среды находилась в диапазоне от сильнокислых ( $pH_{\text{вод}} = 3,98$ ) и до слабощелочных значений ( $pH_{\text{вод}} = 8,20$ ) (рис. 8). Около 50 % проб, в том числе из вторичных солончаков, сохранили проявления остаточной обменной кислотности. Слабощелочной средой характеризовались аллювиальная солончаковая почва и солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый.

Почвы имели, как низкую, так и высокую поглотительную способность в связи с изменением гранулометрического состава и содержания органического вещества. По содержанию подвижных фосфатов почвы были, как низко, так и повышено обеспечены. Содержание подвижного калия варьировало в очень широких пределах – от 9,5 до 550 мг/100 г почвы; высокий уровень установлен в засоленных почвах, максимальное значение – в солончаке вторичном сульфатно-хлоридного натриево-кальциевом.

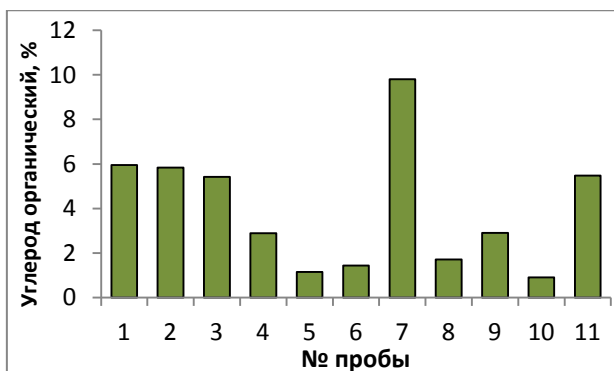


Рис. 7 – Содержание органического углерода (C<sub>орг</sub>, %) в почвах ТПК на аллювиальных породах

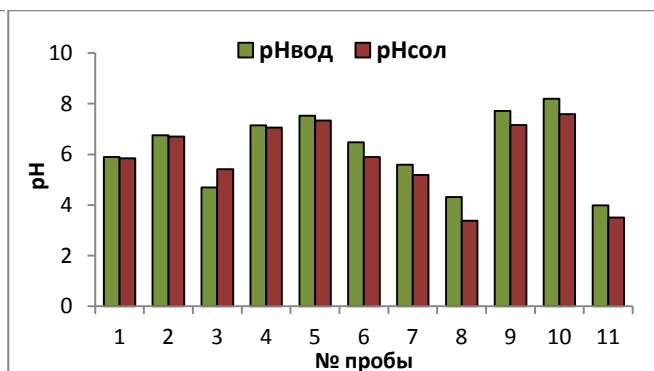


Рис. 8 – Величина pH почв ТПК на аллювиальных породах

Здесь и далее в данном ТПК: 1, 2 – солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый; 3- аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная натриево-магниево-кальциевая солончаковая почва; 4, 5 – солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый; 6 – аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная магниево-кальциево-натриевая почва; 7 – аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная натриево-магниево-кальциевая солончаковая почва; 8 – аллювиальная гумусовая хлоридная натриевая солончаковая почва; 9 – солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый; 10 – солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый; 11 – глеезем хлоридный натриевый солончаковый.

Содержание водорастворимых ионов в верхних горизонтах аллювиальных почв варьировало очень широко (рис. 9, 10).

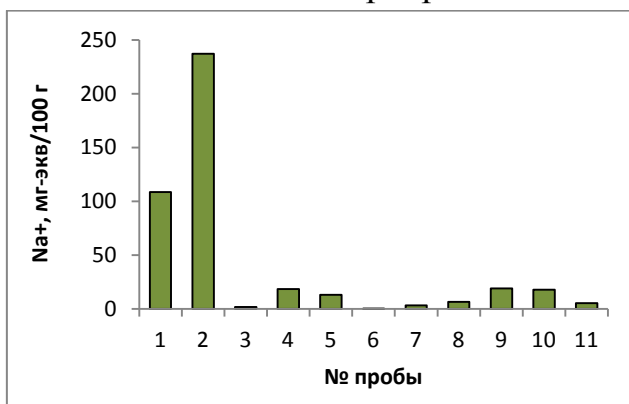


Рис. 9 – Содержание водорастворимого Na<sup>+</sup> в почвах ТПК на аллювиальных породах

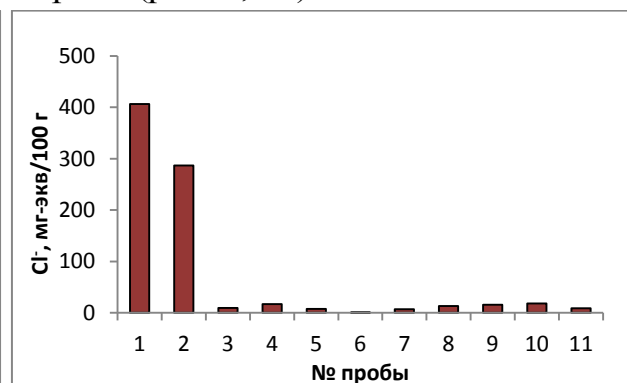


Рис. 10 – Содержание водорастворимого Cl<sup>-</sup> в почвах ТПК на аллювиальных породах

В солончаке вторичном сульфатно-хлоридном натриево-кальциевом количество сульфатов и хлоридов натрия достигало максимальных значений. Почти в половине почвенных проб водорастворимые сульфаты отсутствовали.

Активность каталазы в почвах технопедокомплекса на аллювиальных породах варьировала от 0,3 до 4,5 O<sub>2</sub> см<sup>3</sup>/г за 1 мин, что указывает преимущественно на их обедненность этим ферментом.

Методом фитотестирования установлено экологически опасное состояние солончаковых почв и вторичных солончаков в ТПК на

аллювиальных породах – всходы кресс-салата на почвенных пробах не были получены. Лишь у отдельных аллювиальных почв отмечено удовлетворительное экологическое состояние поверхностных горизонтов, а редокс-активность кресс-салата не показала реакцию на их токсичность (рис. 11).

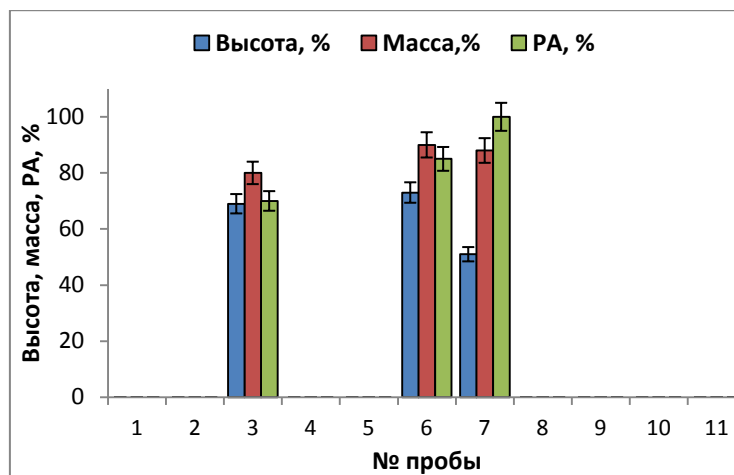


Рис. 11 – Высота, масса и редокс-активность (РА) тест-культуры, выращенной на почвах ТПК на аллювиальных породах, % от контроля

По состоянию кресс-салата, выращенного на почвенных пробах из ТПК на элювиально-делювиальных суглинках и из ТПК на древнеаллювиальных песчано-супесчаных породах, установлено, как хорошее экологическое состояние (без токсичности), так и предельная токсичность солончаков – при полном отсутствии всходов растений. Серогумусовые почвы и литостраты характеризовались, как правило, хорошим и удовлетворительным экологическим состоянием (рис. 12). Токсичность почв по тест-реакции растений не проявилась.

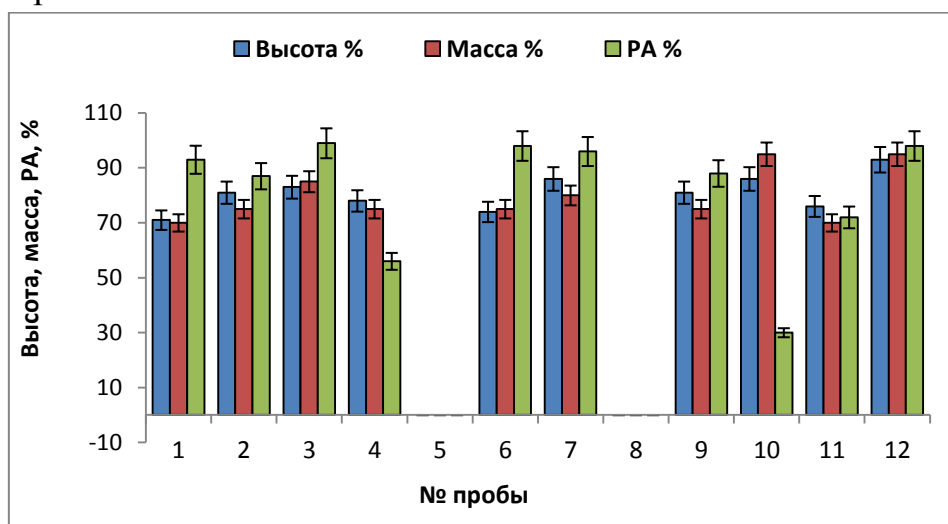


Рис. 12 – Высота, масса и редокс-активность тест-культуры, выращенной на почвах и ТПО в ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях и двучленных породах, % от контроля

1 – литострат остаточно-карбонатный глинистый; 2, 3, 4 – серогумусовые остаточно карбонатные супесчаные и суглинисто-глинистые почвы; 5 – солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый; 6 – литострат глееватый песчаный остаточно-карбонатный; 7 – серогумусовая остаточно-карбонатная суглинисто-глинистая почва; 8 – солончак вторичный хлоридный натриевый; 9, 10 – серогумусовые супесчаные почвы; 11, 12 – серогумусовые суглинистые остаточно-карбонатные почвы.

Анализ корреляционных зависимостей показал отрицательное влияние засоленности почв технопедокомплексов на высоту и массу тест-культуры; коэффициенты корреляции с ионами калия, хлора, кальция, магния, натрия, сульфатов и суммой водорастворимых солей составляли от  $-0,49$  до  $-0,54$ .

### **Заключение**

1. При тестировании почв и техногенных поверхностных образований Пермского края морфометрические показатели кресс-салата изменялись в зависимости от почвенных свойств (содержание гумуса, кислотно-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 ( $pH_{\text{вод}} = 6,7-8,3$ ); 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 ( $-\lg[Cd], -\lg[Pb], -\lg[Cu] > 6-7$ )).

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

5. Методом фитотестирования установлено преимущественно удовлетворительное экологическое состояние поверхностных почвенных слоев в урбопеδοкомплексах 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 ( $pH_{\text{вод}}$  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 опубликованных работ по теме диссертации

##### Работы, опубликованные в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК

1. Еремченко О.З., Кусякина М.Г., Шестаков И. Е., **Митракова Н.В.** Генерация пероксида водорода растениями как тест – реакция при оценке загрязненности почв тяжелыми металлами // Естественные и технические науки. 2012. № 4(60). С. 123–127.
2. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., **Митракова Н.В.** Использование биологических показателей при оценке биогеоценотических функций почв // Современные проблемы науки и образования: электронный журнал. 2012. № 6. (URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=7282>)
3. **Митракова Н.В.**, Еремченко О.З. Фитотестирование почв и техногенных поверхностных образований в урбанизированных ландшафтах // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2016. Вып. 1. С. 60–67.
4. 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.

5. Еремченко О.З., **Митракова Н.В.** Способ оценки биологической активности и токсичности почв и техногенных почвогрунтов. Патент РФ № 2620555. 2016.

#### **Работы, опубликованные в других изданиях**

6. **Митракова Н.В.** Оценка устойчивости почв методом биоиндикации // Материалы конференции «Биология будущего: традиции и новации». Екатеринбург, 2012. С. 181–184.

7. **Митракова Н.В.** Оценка устойчивости почв, находящихся под угрозой исчезновения, методами биотестирования // Вестник молодых ученых ПГНИУ: сборник научных трудов. Пермь, 2012. Т 1. С. 14–24.

8. Еремченко О.З., **Митракова Н.В.**, Шестаков И.Е. Биотестирование при оценке устойчивости почв, находящихся под угрозой исчезновения // Тезисы докладов междунар. конференции «Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред». М., 2013. С. 70.

9. **Митракова Н.В.**, Лузина Е.В. Устойчивость природных и городских почв Пермского края к загрязнению тяжелыми металлами // Материалы междунар. научной конференции «XVI Докучаевские молодежные чтения». СПб, 2013. С. 168–170.

10. **Митракова Н.В.** Устойчивость лесостепных почв к загрязнению кадмием // Материалы 17 междунар. Пущинской школы-конференции молодых ученых «Биология – наука XXI века». Пущино, 2013. С. 311–312.

11. **Митракова Н.В.** Устойчивость почв Пермского края, находящихся под угрозой исчезновения, к загрязнению свинцом // Материалы XVIII Всероссийской школы «Экология и почвы». Пущино, 2013. С. 29–30.

12. **Митракова Н.В.** Оценка биохимической устойчивости почв при загрязнении солью кадмия // Материалы междунар. научной конференции «XVII Докучаевские молодежные чтения». СПб. 2014. С. 247–248.

13. **Митракова Н.В.** Сравнительная оценка устойчивости почв Кунгурской лесостепи и дерново-подзолистой почвы при загрязнении тяжелыми металлами // Материалы VII Всероссийского конгресса молодых биологов «Симбиоз-Россия 2014». Екатеринбург, 2014. С. 308–310.

14. **Митракова Н.В.**, Шестаков И.Е. Применение методов биотестирования при загрязнении почв тяжелыми металлами // Материалы междунар. школы-семинара молодых ученых «Антропогенная трансформация окружающей среды». Пермь, 2014. С. 69–73.

15. **Митракова Н.В.** Методы изучения физико-химических и биохимических свойств природных и агрогенных почв Пермского края // Материалы междунар. научной конференции «XVIII Докучаевские молодежные чтения». СПб., 2015. С. 234–236.

16. **Митракова Н.В.**, Еремченко О.З. Изменение биологической активности агротемно-серой почвы при загрязнении сульфатом кадмия // Материалы 19-й междунар. Пущинской школы-конференции молодых ученых «Биология – наука XXI века». Пущино, 2015. С. 301–302.

17. **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 «Антропогенная трансформация окружающей среды». Пермь, 2015. С. 143–147.

18. **Митракова Н.В.** Агрогенная трансформация свойств «краснокнижной» темно-серой почвы в Пермском крае // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2015. Вып. 3. С. 251–258.

19. **Митракова Н.В.**, Еремченко О.З. Трансформация свойств темно-серых почв Пермского края // Материалы Всеросс. научной конференции «Красная книга почв и ее значение для охраны почвенного покрова». Симферополь, 2015. С. 180–184.
20. Еремченко О.З., **Митракова Н.В.**, Москвина Н.В., Швецов А.А. Оценка биологической активности и токсичности почв методом биотестирования // Материалы V международ. научной конференции «Отражение био-, гео-, антропогенных взаимодействий в почвах и почвенном покрове». Томск, 2015. С. 403–406.
21. **Митракова Н.В.** Агрогенная трансформация свойств темно-серых почв Кунгурской лесостепи в Пермском крае // Материалы международ. семинара «Роль экологической оценки сельскохозяйственных земель в развитии регионов и защите экологического баланса». Баку, 2015. С. 101–103.
22. **Митракова Н.В.**, Беломорская Ю.В. Оценка биологической активности и токсичности почв и техногенных поверхностных образований урбанизированных территорий // Материалы международ. научной конференции «XIX Докучаевские молодежные чтения». СПб., 2016. С. 81–82.
23. **Митракова Н.В.** Оценка экологического состояния городских почв // Материалы 20-ой международ. Пущинской школы-конференции молодых ученых. Пущино, 2016. С. 486.
24. **Митракова Н.В.**, Еремченко О.З., Беломорская Ю.В. Оценка биологической активности и токсичности почв и техногенных поверхностных образований // Материалы VII съезда почвоведов им. В.В. Докучаева. Белгород, 2016. Ч. I. С. 44–45.
25. Еремченко О.З., Максимова С.Е., **Митракова Н.В.** Природно-техногенная организация почвенного покрова в Пермском Прикамье // Материалы VII съезда почвоведов им. В.В. Докучаева. Белгород, 2016. Ч. I. С. 171–172.
26. **Митракова Н.В.**, Беломорская Ю.В., Агафонова Е.В. Оценка состояния почв селитебных и промышленных зон г. Перми методом фитотестирования // Материалы международ. школы-семинара молодых ученых «Антропогенная трансформация окружающей среды». Пермь, 2016. С. 81–82.
27. **Митракова Н.В.**, Агафонова Е.В. Наследуемые и приобретенные свойства почв и техногенных поверхностных образований разных урбопедокомплексов г. Перми // Материалы международ. научной конференции «XX Докучаевские молодежные чтения». СПб., 2017. С. 311–313.
28. Беломорская Ю.В., **Митракова Н.В.** Зависимость каталазной активности от физико-химических и химических свойств урбостратоземов и квазиземов г. Перми // Материалы 21-ой международ. Пущинской школы-конференции молодых ученых. Пущино, 2017. С. 148–149.
29. **Митракова Н.В.**, Еремченко О.З. Состояние почв и квазиземов урбопедокомплексов жилых районов г. Перми // Материалы 8-й международ. научно-практической конференции «Экологические проблемы промышленных городов». Саратов, 2017. С. 177–181.
30. Еремченко О.З., **Митракова Н.В.**, Липин И.Н. Морфогенетические свойства песчаных почв Камских террас // Материалы Всеросс. конференции «Теоретические и прикладные аспекты лесного почвоведения». Петрозаводск. 2017. С. 56–58.
31. **Митракова Н.В.**, Еремченко О.З. Биологическая активность почв зоны солеотвалов Соликамско-Березниковского экономического района // Материалы Всеросс. научной конференции «Почвы России: вчера, сегодня, завтра». Киров, 2017. С. 162–167.
32. Митракова Н. В., **Еремченко О.З.** Свойства техногенных солончаков в таежно-лесной зоне Пермского края // Материалы научной конференции «История и методология физиолого-биохимических и почвенных исследований». Пермь, 2017. С. 149–153.