

## ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.75 + 631.4

DOI: 10.17072/1994-9952-2019-1-63-71.

**О. З. Еремченко, Н. В. Москвина, Н. В. Митракова, А. Е. Колбик,  
И. В. Пахорук**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

### ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗАСОЛЕННЫХ, КИСЛЫХ И ЩЕЛОЧНЫХ ПОЧВ МЕТОДОМ ФИТОТЕСТИРОВАНИЯ

Исследования по фитотестированию показали, что внесение хлоридов натрия в количестве 0.3% и выше способствовало переводу кислой дерново-подзолистой почвы в категорию токсичных почв с опасным экологическим состоянием. На фоне нейтрализации почвенной кислотности путем известкования токсичность NaCl была пониженной. При комбинированном воздействии солей (0.3–0.5% NaCl) и подщелачивания (pH = 8.2) почва также становилась токсичной и экологически опасной. В зоне солотвалов на территории Верхнекамского месторождения воздействию техногенных солей подвержены вторичные неокислые почвы, сформированные за несколько десятилетий на минеральных карбонатных и бескарбонатных грунтах. Морфометрические показатели тест-культуры зависели от содержания в почвах хлоридов и сульфатов натрия. Поверхностные горизонты серогумусовых почв характеризовались преимущественно удовлетворительным экологическим состоянием. В условиях скопления водорастворимых солей (до 1% и выше) формируются предельно токсичные солончаки.

**Ключевые слова:** фитотестирование; почвы; засоление; подщелачивание; солотвалы.

**O. Z. Eremchenko, N. V. Moskvina, N. V. Mitrakova, A. E. Kolbik,  
I. V. Pakhoruk**

Perm State University, Perm, Russian Federation

### ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF SALTED, ACID AND ALKALINE SOILS BY THE PHYTOTESTING METHOD

Phyto-testing of soils showed the negative effect of adding sodium chloride in an amount of 0.3% and higher, which contributed to the conversion of acidic sod-podzolic soil to the category of toxic soils with a dangerous ecological state. NaCl toxicity was reduced due to neutralization of soil acidity by liming. The combined effects of salts (0.3-0.5% NaCl) and alkalization (pH = 8.2) also caused the soil to become toxic and dangerous. In the zone of salt dumps on the territory of the Verkhnekamsk potassium salt deposit, secondary non-acidic soils, formed over several decades on carbonate and carbonate-free mineral grounds, are exposed to man-caused technogenic salts. Morphometric parameters of the test culture depended on the content of sodium chloride and sulphate in soils. The surface horizons of gray-humus soils have a predominantly satisfactory ecological state. In conditions of accumulation of water-soluble salts (up to 1% and above) extremely toxic solonchaks are formed.

**Key words:** phytotesting; soils; salinization; alkalization; salt dumps.

#### Введение

Засоленность – один из основных признаков неблагоприятного экологического состояния земель. По классическим представлениям отрицательное воздействие засоления на биологические объекты обусловлено щелочной реакцией среды, осмотическим и токсическим действием легкорас-

творимых солей, неблагоприятными водно-физическими свойствами почв (ухудшение водопроницаемости за счет повышения содержания физической глины, увеличение минерализации органического вещества). В засоленных почвах понижены уровень потенциального плодородия, доступность макро- и микроэлементов для растений, количество и разнообразие микроорганизмов и

почвообитающих беспозвоночных. В последние десятилетия накапливаются сведения о техногенном галогенезе, связанном с добычей и производством солей, применением антигололедных средств, разливом пластовых вод на нефтепромыслах. При этом засоление, солонцеватость и ощелачивание почв развиваются даже в условиях влажного климата тайги и смешанных лесов [Редли, Панкова, 2004; Габбасова, Сулейманов, 2007; Белкин, 2008; Сулейманов, 2010; Щербак, Фоминых, 2012; Еремченко, Митракова, Шестаков, 2017; Никифорова, Касимов, Кошелева, 2017; Азовцева, Смагин, 2018; Хулиш и др., 2018].

Современная антропогенная деятельность создает серьезную угрозу – увеличения площадей засоленных почв; на этом фоне возросла актуальность контроля за эколого-биологическими свойствами этих почв. В природоохранной практике США, Франции, Германии, Швеции, Японии обязательными являются методы биотестирования, в которых приоритет часто отдают высшей растительности. Фитотестирование лежит в основе метода оценки токсичности почв, нормирования загрязняющих веществ. Чувствительность растений к почвенно-химическому воздействию проявляется в ростовых, морфологических, биохимических характеристиках [Фомин, Фомин, 2001; Chaignon, Hinsinger, 2003; Багдасарян, 2005; Edson et al., 2007; Fuleky, Varna, 2008; Воронина, 2009; Маячкина, Чугунова, 2009; Терехова, 2011; Бардина, Чугунова, Бардина, 2013, 2016; Терехова, Гладкова, 2014; Николаева, Терехова, 2017; Гареева, 2018]. Интегральной тест-реакцией на загрязнение почв могут служить физиолого-биохимические реакции, сопровождающие окислительный стресс растений [Еремченко, Митракова, 2016].

Во многих работах показана эффективность применения в тестировании почв мелких семян культурных растений, в частности кресс-салата *Lepidium sativum* L. Этот вид показал информативность при анализе загрязнений как отдельными поллютантами (тяжелыми металлами, углеводородами, радиоактивными веществами), так и при их комплексном воздействии [Шунелько, Федорова, 2000; Czerniawska-Kusza et al., 2006; Sujetovienė, Griauslytė, 2008; Лисовицкая, Терехова, 2010].

В наших исследованиях прослежена существенная ответная реакция кресс-салата на кислотность и щелочность почв, содержание гумуса и питательных элементов, агрегатное состояние, подвижность некоторых тяжелых металлов в почвах Пермского края; на разработанный метод фитотестирования получен патент [Еремченко, Митракова, 2016]. Однако осталась не изученной реакция тест-культуры на засоленность почв, комбинированное воздействие засоления и щелочности, засоления и кислотности. В урбанизированных и техногенных ландшафтах

ногенных ландшафтах региона имеют определенное распространение засоленные и подщелаченные почвы и техногенные поверхностные образования [Еремченко, Митракова, Шестаков, 2017]. Техногенные компоненты почвенного покрова должны получить свою экологическую характеристику, в том числе методом фитотестирования.

Цель работы – изучить ответную реакцию кресс-салата на отдельное и комбинированное действие засоления и pH-уровня почвенной среды.

## Материалы и методы исследований

В модельном эксперименте изучили реакцию тест-культуры на отдельное и комбинированное воздействие засоления NaCl и разного pH-уровня корневой среды. Пробы из элювиального горизонта дерново-подзолистой почвы с pH = 4.9 нейтрализовали известью (расчетной дозой по величине гидролитической кислотности) до pH = 7.0. NaCl внесли в количестве 0.3 и 0.5% от веса сухой почвы. Для подщелачивания почвы до pH 8.2 использовали Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

Схема опыта:

1. Тест-контроль
2. pH 4.9 (дерново-подзолистая почва)
3. pH 7.0 (известкованная дерново-подзолистая почва)
4. pH 8.2 (подщелаченная дерново-подзолистая почва)
5. pH 4.9 + NaCl 0.3%
6. pH 7.0 + NaCl 0.3%
7. pH 8.2 + NaCl 0.3%
8. pH 4.9 + NaCl 0.5%
9. pH 7.0 + NaCl 0.5%
10. pH 8.2 + NaCl 0.5%

Полевой материал (пробы из почвенных слоев 0–15 см) был отобран в ландшафтах складирования солевых отходов на территории Соликамского калийного рудоуправления (СКРУ-1, СКРУ-2) и Березниковского калийного производственного управления (БКПРУ-3, БКПРУ-4). Диагностика почв и техногенных поверхностных образований (ТПО) приведена в соответствии с современной классификацией почв РФ [Классификация..., 2004].

В почвенных пробах определяли: содержание органического углерода – по Тюрину (ГОСТ 26213-91); pH<sub>вод</sub>, pH<sub>сол</sub> – потенциометрическим методом (ГОСТ 26423-85); гидролитическую кислотность – по методу Капшена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91); обменный кальций и обменный магний – методами ЦИНАО (ГОСТ 26487-85); емкость катионного обмена (ЕКО) рассчитывали путем сложения суммы оснований и гидролитической кислотности; емкость поглощения в карбонатных пробах – методом Мелиха; подвижные соединения фосфора и калия – по Кирсанову в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 54650-2011); ионно-солевой состав изучали в водной вы-

тяжке:  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  – на пламенном фотометре;  $\text{Cl}^-$  – путем титрования азотнокислым серебром;  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  – трилометрическим методом; сульфатионы рассчитывали по разности сумм катионов и анионов.

Фитотестирование почв и ТПО провели согласно патенту на изобретение № 2620555. На почвенных пробах вырастили кресс-салат; через 8 дней роста провели замеры высоты и массы (на весах с точностью до 0.001 г) 25 растений. В зеленой массе в трехкратной повторности определили редокс-активность растительных экстрактов по методу Петта – Прокашева. Тест-контролем служили растения, выращенные на вермикулите с раствором Кнопа; способность этой корневой среды создавать условия для роста и развития кресс-салата не уступает чернозему [Еремченко, Митракова, 2016].

Данные по высоте и массе растений обработали статистическими методами, результаты определения редокс-активности – методом дисперсионного анализа. Существенность различий с тест-контролем обоснована критерием Стьюдента, параметрическими и непараметрическими тестами (при 95%-ном уровне вероятности).

## Результаты и их обсуждение

В модельном эксперименте с засолением и ощелачиванием дерново-подзолистой почвы установлено, что на всех вариантах опыта высота и масса тест-культуры была ниже по сравнению с тест-контролем (рис. 1). На пробах из элювиального горизонта снижение высоты и массы кресс-салата обусловлено в значительной степени кислой средой, зависимость от которой подтверждена в ранее проведенных исследованиях. На известкованных пробах, с реакцией среды близкой к нейтральным значениям, состояние растений было наилучшим и составляло 82% от высоты и 70% от массы тест-контроля. На фоне подщелачивания почвы показатели растений были выше, чем при кислой среде, хотя и уступали показателям растений на нейтральной почве. Худшими для растений были засоленные варианты почв при любой реакции почвенной среды. Растения, выращенные при комбинированном воздействии кислой реакции среды и засоления, характеризовались наименьшей высотой и массой; при 0.3% NaCl они составляли 33–37%, а при 0.5% NaCl – 24–32% от показателей тест-контроля.

По результатам фитотестирования согласно патенту [Еремченко, Митракова, 2016] была проведена оценка экологического состояния и токсичности почв. В нашем эксперименте удовлетворительное экологическое состояние имела только известкованная почва (снижение высоты и массы тест-культуры в пределах 10–30%). Неудовлетворительное экологическое состояние показали кислая

дерново-подзолистая почва, подщелаченная почва, кислая и подщелаченная почвы при комбинировании с 0.3% NaCl (снижение относительно тест-контроля на 30–50%). Промежуточное состояние, близкое к токсичному, заняли почвы с 0.5% NaCl при нейтральной и щелочной среде. Токсичными и экологически опасными по результатам фитотестирования были кислые засоленные почвы (высота и масса кресс-салата менее 50% от тест-контроля).

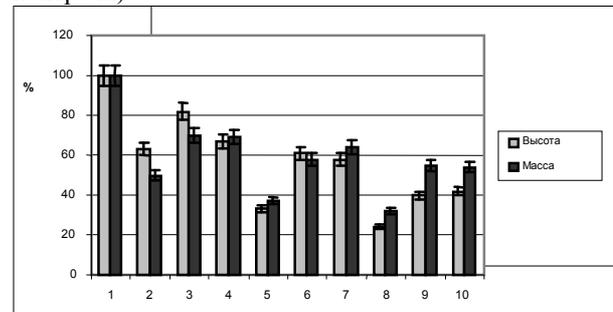


Рис. 1. Высота и масса тест-культуры при отдельном и комбинированном воздействии засоления и pH-уровня корневой среды:

1 – тест-контроль; 2 – pH = 4.9; 3 – pH = 7.0; 4 – pH = 8.2; 5 – pH = 4.9 + NaCl 0.3%; 6 – pH 7.0 + NaCl 0.3%; 7 – pH 8.2 + NaCl 0.3%; 8 – pH 4.9 + NaCl 0.5%; 9 – pH 7.0 + NaCl 0.5%; 10 – pH 8.2 + NaCl 0.5%

Дополнительным показателем токсичности почв служит восстановительная активность растительных экстрактов как показатель окислительного стресса. Ответной реакцией растений на ощелачивание почвы было повышение редокс-активности при отдельном воздействии щелочной среды и комбинированном воздействии с 0.3% NaCl (рис. 2). Максимально токсичными по этому показателю растений были комбинированные варианты засоления 0.5% NaCl с кислой и щелочной средой, на которых редокс-активность была выше в 2.5–3 раза. На остальных вариантах она в меньшей степени отличалась от контроля, что могло быть связано с отсутствием токсичности (например, на известкованной почве), или с неспособностью растений адаптироваться к кислой и засоленной корневой среде.

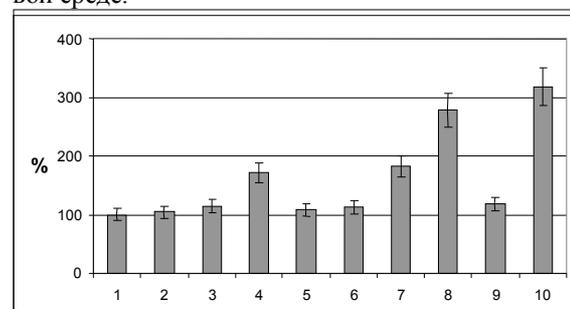


Рис. 2. Редокс-активность тест-культуры при отдельном и комбинированном воздействии засоления и pH-уровня корневой среды.

Номера опытов – см. рис. 1

Таким образом, проведенные лабораторные исследования выявили, что из-за внесения солей (0.3–0.5% NaCl) и подщелачивания (до 8.2 pH) дерново-подзолистая почва становится токсичной; наиболее экологически опасным было засоление с сохранением кислой реакции почвенной среды. Тест-культура показала, что на известкованной почве токсичность солей была, как правило, пониженной по сравнению с немелиорированными вариантами.

Возле солеотвалов за несколько десятилетий на почвогрунтах сформировались серогумусовые почвы разного гранулометрического состава, в том числе, остаточно-карбонатные; в местах регулярного поступления солевых растворов развиты вторичные солончаки [Еремченко, Митракова, Шестаков, 2017]. Здесь имеют некоторое распространение ТПО без почвенных признаков.

Свойства поверхностных слоев почв в зоне воздействия солеотвалов варьировали в широком интервале (табл. 1). Для вторичных почв и ТПО характерно преимущественно низкое содержание органического углерода, минимальное – в литост-

ратах и серогумусовых супесчаных почвах. Реакция почвенной среды, как правило, была близкой к нейтральным значениям, за исключением дерново-подзолистой кислой почвы. Слабощелочной реакцией (pH = 8.0–8.1) отличились лишь две незасоленные серогумусовые остаточно-карбонатные почвы.

Емкость катионного обмена была низкой в песчаных и супесчаных слоях, очень высокой – в тяжелоглинистых (табл. 1). Почвы значительно отличались содержанием питательных элементов, при этом, очень высокий уровень подвижного калия был, по-видимому, связан с его поступлением из солевых отходов. Количество подвижных фосфатов колебалось в зависимости от гранулометрического состава и интенсивности биогенной аккумуляции в почвах.

Интенсивность накопления хлоридов и сульфатов натрия в поверхностных почвенных слоях существенно варьировала; вторичные серогумусовые почвы были практически незасоленными, а в солончаках количество водорастворимых ионов достигало нескольких десятков мг-экв на 100 г почвы.

Таблица 1

**Свойства поверхностных слоев (0-15 см) вторичных почв и техногенных поверхностных образований зоны воздействия солеотвалов**

Показатели	Количество почв	Среднее	Минимум	Максимум
Углерод органический, %	18	1.94	0.10	3.51
pH <sub>вод</sub>	18	6.80	4.52	8.10
pH <sub>сол</sub>	18	6.32	3.84	7.62
Емкость поглощения, мг-экв/100 г	18	45.09	1.29	76.00
Подвижные фосфаты, мг/100г	18	5.94	0.30	24.30
Подвижный калий, мг/100г	18	59.97	1.50	400.00
Na <sup>+</sup> водорастворимый, мг-экв/100 г	18	4.96	0.07	58.70
Cl <sup>-</sup> водорастворимый, мг-экв/100 г	18	8.08	0.45	81.36
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> водорастворимый, мг-экв/100 г	18	1.64	0.00	23.73

Методом фитотестирования установлено, что, несмотря на различия в преобладающих катионах (натриевый, натриево-калиевый, натриево-кальциевый химизм) и анионах (хлоридный, сульфатно-хлоридный химизм), солончаки были предельно токсичными, на их пробах даже не получены всходы кресс-салата. Экологическое состояние остальных почв и ТПО варьировало от удовлетворительного до неудовлетворительного уровня (рис. 3). Неудовлетворительным было состояние у дерново-подзолистой почвы, на которой высота и масса растений снизилась более, чем на 30% относительно тест-контроля. Близкими к неудовлетворительному состоянию характеризовались некоторые серогумусовые почвы и литострат. На остальных почвах высота и масса тест-культуры были понижены менее чем на 30%, что дает основание считать их экологическое состояние удовлетворительным.

Результаты исследований также показывают, что вторичные незасоленные почвы, сформировавшиеся на минеральных грунтах за несколько десятилетий под травяной растительностью, создают лучшие условия для произрастания тест-культуры по сравнению с зональной лесной почвой. При устройстве площадок для солеотвалов на поверхности оказались грунты, содержащие литогенные карбонаты. В последующем эти соли участвовали в нейтрализации кислых продуктов почвообразования. На бескарбонатной матрице кислой среде, по-видимому, препятствовали основания, поступающие из отходов солей и растительного опада.

Существенное повышение редокс-активности отмечено лишь на одной из серогумусовых остаточно-карбонатных тяжелосуглинистых почв, где оно составило чуть больше 130% к контролю (рис. 4). На остальных почвах этот показатель не отли-

чался от контроля, либо был понижен. Таким образом, по уровню редокс-активности растительных

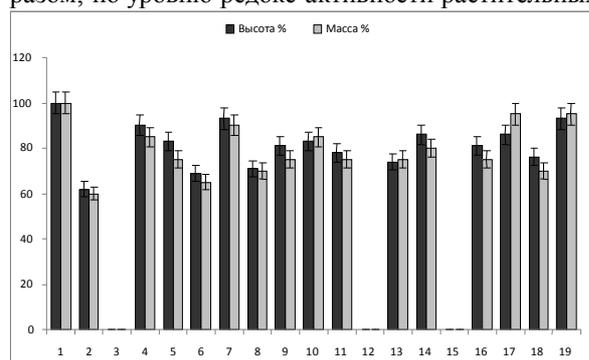


Рис. 3. Высота и масса тест-культуры, выращенной на пробах вторичных почв и техногенных поверхностных образований зоны воздействия солеотвалов СКРУ-1, СКРУ-2, БКПРУ-3, БКПРУ-4, %, здесь и на рис. 4:

1 – контроль, 2 – дерново-подзолистая тяжелосуглинистая почва, 3 – солончак вторичный хлоридный натриево-калиевый тяжелосуглинистый, 4, 5 – серогумусовая тяжелосуглинистая почва, 6, 7 – серогумусовая остаточно карбонатная тяжелосуглинистая почва, 8 – литострат остаточно-карбонатный глинистый, 9–11 – серогумусовая остаточно карбонатная суглинистая почва, 12 – солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый, 13 – литострат глееватый песчаный остаточно-карбонатный, 14 – серогумусовая остаточно-карбонатная суглинисто-глинистая почва, 15 – солончак вторичный хлоридный натриевый, 16, 17 – серогумусовая песчано-супесчаная почва, 18, 19 – серогумусовая суглинисто-карбонатная почва

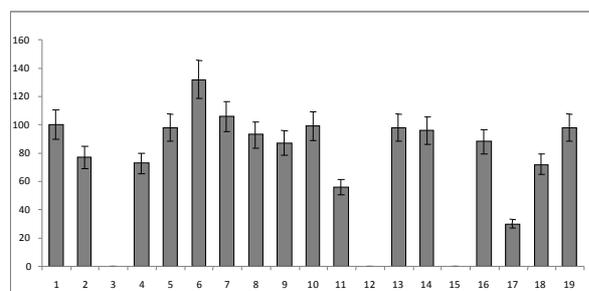


Рис. 4. Редокс-активность тест-культуры, выращенной на пробах вторичных почв и техногенных поверхностных образований зоны воздействия солеотвалов СКРУ-1, СКРУ-2, БКПРУ-3, БКПРУ-4, %

На основе корреляционного анализа были выявлены существенные зависимости высоты и массы тест-культуры от содержания водорастворимых ионов натрия, хлора и сульфатов в верхних слоях почв (табл. 2). Таким образом, фитотестирование показало, что биологическая активность и токсичность вторичных почв зоны солеотвалов преимущественно зависит от уровня аккумуляции в них хлоридов и сульфатов натрия.

экстрактов не установлена токсичность почвенных слоев большинства почв.

Таблица 2  
Коэффициенты корреляции между высотой и массой кресс-салата и показателями засоленности почв зоны воздействия солеотвалов

Показатель	Высота	Масса
Cl <sup>-</sup> водорастворимый	-0.78	-0.77
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> водорастворимый	-0.61	-0.60
Na <sup>+</sup> водорастворимый	-0.72	-0.71

## Заключение

Метод фитотестирования впервые использован при оценке отдельного и комбинированного воздействия засоления и разного pH-уровня почв. Согласно полученным результатам, внесение хлоридов натрия в количестве 0.3% и выше способствовало переводу кислой дерново-подзолистой почвы в категорию токсичных почв с опасным экологическим состоянием. На фоне нейтрализации почвенной кислотности токсичность NaCl была пониженной. При комбинированном воздействии засоления (0.3–0.5% NaCl) и подщелачивания (pH = 8.2) почва также становилась токсичной и экологически опасной.

В зоне солеотвалов воздействию техногенных солей подвержены вторичные неокислые почвы, сформированные за несколько десятилетий на минеральных карбонатных и бескарбонатных грунтах. Состояние тест-культуры зависело от содержания в почвах хлоридов и сульфатов натрия. Поверхностные горизонты серогумусовых почв характеризовались преимущественно удовлетворительным экологическим состоянием. В условиях скопления водорастворимых хлоридов и сульфатов (сумма солей до 1% и выше) формируются предельно токсичные солончаки.

## Библиографический список

- Азовцева Н.А., Смагин А.В. Динамика физических и физико-химических свойств городских почв при использовании солевых противогололедных средств // Почвоведение. 2018. № 1. С. 118–128.
- Багдасарян А.С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ставрополь, 2005. 24 с.
- Бардина Т.В., Чугунова М.В., Бардина В.И. Изучение экотоксичности урбаноземов методами биотестирования // Живые и биокосные системы. 2013. Вып. 5. [Электронный ресурс] URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-5/article-8.pdf> (дата обращения: 13.02.2018).

- Бардина Т.В., Чугунова М.В., Бардина В.И. Изучение токсичности почвенного покрова в зоне длительного влияния отходов производства серной кислоты контактными методами биотестирования // Биодиагностика и оценка качества природной среды: материалы междунар. симпозиума. М.: ГЕОС, 2016. С. 10–15.
- Белкин В.В. Мониторинг геологической среды в процессе разработки калийных месторождений // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2008. № 1. С. 49–59.
- Воронина Л.П. Экологические функции комплекса агрохимических средств и регуляторов роста растений в агроценозе: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2009. 18 с.
- Габбасова И.М., Сулейманов Р.Р. Трансформация серых лесных почв при техногенном засолении и осолонцевании и в процессе их рекультивации в нефтедобывающих районах Южного Приуралья // Почвоведение. 2007. № 9. С. 1120–1128.
- Гареева Е.В. Применение метода фитотестирования для оценки экологической безопасности состояния природной среды в пределах эксплуатируемых месторождений ООО Газпром добыча Надым // Газовая промышленность. 2018. № 2 (764). С. 66–72.
- Еремченко О.З., Митракова Н.В. Способ оценки биологической активности и токсичности почв и техногенных почвогрунтов: пат. Рос. Федерация № 2620555. 2016.
- Еремченко О.З., Митракова Н.В., Шестаков И.Е. Природно-техногенная организация почвенного покрова территории воздействия солейотвалов и шламохранилищ в Соликамско-Березниковском экономическом районе // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2017. Вып. 3. С. 311–320.
- 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.
- Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 2004. 223 с.
- 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.
- 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.
- Никифорова Е.М., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. Многолетняя динамика антропогенной солонцеватости почв ВАО Москвы при использовании противогололедных реагентов // Почвоведение, 2017. № 1. С. 93–104.
- Николаева О.В., Терехова В.А. Совершенствование лабораторного фитотестирования для экотоксикологической оценки почв // Почвоведение. 2017. № 9. С. 1141–1152.
- Редли М., Панкова Е.И. Результаты современных исследований засоленных почв в Европе // Почвоведение. 2004. № 12. С. 1473–1485.
- Сулейманов Р.Р. Засоленные почвы естественных и агротехногенных ландшафтов Южного Урала: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Уфа, 2010. 45 с.
- Терехова В.А. Биотестирование почв: подходы и проблемы // Почвоведение. 2011. № 2. С. 190–198.
- Терехова В.А., Гладкова М.М. Инженерные наноматериалы в почве: проблемы оценки их воздействия на живые организмы // Почвоведение. 2014. № 1. С. 82–90.
- Тимофеев М.А., Терехова В.А., Кожевин П.А. Биотестирование почв при загрязнении кадмием // Вестник Московского ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2010. № 4. С. 44–47.
- Фомин Г.С., Фомин А.Г. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам: справочник. М.: Протектор, 2001. 304 с.
- Хулиш П. и др. Техногенные слои в органогенных почвах как результат воздействия отходов содовой промышленности // Почвоведение. 2018. № 10. С. 1192–1201.
- Шунелько Е.В., Федорова А.И. Экологическая оценка городских почв и выявление уровня токсичности тяжелых металлов методом биотестирования // Вестник Воронежского государственного университета. География и экология. 2000. № 4. С. 77–83.
- Щербак Г.Г., Фоминых Д.Е. Техногенное засоление и возможности рекультивации почв на территориях нефтяных месторождений Западной Сибири // Инженерные изыскания. 2012. № 9. С. 66–71.
- Chaignon V., Hinsinger P. A Biotest for evaluating copper bioavailability to plants in a contaminated soil // Journal of Environmental Quality. 2003. Vol. 32, № 3. P. 824–833.
- Czerniawska-Kusza I. et al. Comparison of the Phytotoxicity microtest and chemical variables for toxicity evaluation of sediments // Environmental Toxicology. 2006. Vol. 21, № 4. P. 367–372.
- Edson V.C. et al. Ecotoxicological evaluation of the short term effects of fresh and stabilized textile sludges before application in forest soil restoration // Environmental Pollution. 2007. Vol. 146, № 2. P. 463–469.

- Fuleky G., Barna S. Biotesting of heavy metal pollution in the soil // *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 2008. Vol. 3, № 2. P. 93–102.
- Sujetovienė G., Griauslytė L. Toxicity assessment of roadside soil using wild oat (*Avena sativa* L.) and cress (*Lepidium sativum* L.) morphometric and biochemical parameters // *Environmental Research Engineering Management*. 2008. Vol. 46, № 4 P. 29–35.
- ### References
- Azovtseva N.A., Smagin A.V. [Dynamics of physical and physicochemical properties of urban soils under the effect of ice-melting salts]. *Eurasian Soil Science*. V. 51, N 1 (2018): pp. 120-129. (In Russ.).
- Baghdasaryan A.S. *Biotestirovanie počv tehnogennykh zon gorodskikh territorij s ispol'zovaniem rastitel'nykh organizmov. Avtoref. diss. cand. biol. nauk* [Bioassay of soil technogenic zones in urban areas with the use of plant organisms: Abstract Cand. Dis.]. Stavropol, 2005. 25p. (In Russ.).
- Bardina T.V., Chugunova M.V., Bardina V.I. [Study of the urban soils' ecotoxicity using biotesting methods]. *Živye i biokosnye sistemy*. N 5 (2013). Available at: <http://www.jbks.ru/archive/issue-5/article-8.pdf> (accessed 13.02.2018). (In Russ.).
- Bardina T.V., Chugunova M.V., Bardina V.I. [Study of soil toxicity in the zone of long-term influence of waste production of sulfuric acid by contact methods of biotesting]. *Biodiagnostika i ocenka kačestva prirodnoj sredy* [International Symposium Biodiagnostics-2016]. Moscow, GEOS Publ., 2016, pp. 10-15. (In Russ.).
- Belkin V.V. [Monitoring of the geological environment in the development of potash deposits]. *Geoėkologija. Inženernaja geologija. Gidrogeologija. Geokriologija*. N 1 (2008): pp. 49-59. (In Russ.).
- Chaignon V., Hinsinger P. A biotest for evaluating copper bioavailability to plants in a contaminated soil. *Journal of Environmental Quality*. V. 32, N 3 (2003): pp. 824-833.
- Czerniawska-Kusza I., Ciesielczuk T., Kusza G., Cichon A. Comparison of the Phytotoxkit micro-biotest and chemical variables for toxicity evaluation of sediments. *Environmental Toxicology*. V. 21. N 4 (2006): pp. 367–372.
- Edson V.C., Giuradelli T.M., Correa A.X.R., Roerig L.R., Schwingel P.R., Resgalla C., Radetski C.M., Radetski A. Ecotoxicological evaluation of the short term effects of fresh and stabilized textile sludges before application in forest soil restoration. *Environmental Pollution*. V. 146, N 2 (2007): pp. 463-469.
- Eremchenko O.Z., Mitrakova N.V. *Sposob otsenki biologicheskoj aktivnosti i toksichnosti počv i tehnogennykh počvogruntov* [A method for assessing the biological activity and toxicity of soil and man-caused soil grounds]. The patent of the Russian Federation № 2620555. 2016. (In Russ.).
- Eremchenko O.Z., Mitrakova N.V., Shestakov I.E. [Natural and technological organization of a soil cover of the area of influence of the salt dumps and sludge in Solikamsk-Berezniki economic area]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 3 (2017): pp. 311-320. (In Russ.).
- Fomin G.S., Fomin A.G. *Počva. Kontrol' kačestva i ėkologičeskoj bezopasnosti po meždunarodnym standartam* [Soil. Quality control and ecological safety monitoring in compliance with international standards]. Moscow, Protector Publ., 2001. 304 p. (In Russ.).
- Fuleky G., Barna S. Biotesting of heavy metal pollution in the soil. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. V. 3, N 2 (2008): pp. 93-102.
- Gabbasova I.M., Suleimanov R.R. [Transformation of gray forest soils upon technogenic salinization and alkalization and subsequent rehabilitation in oil-producing regions of the Southern Urals]. *Eurasian Soil Science*. V. 40, N 9 (2007): pp. 1000-1007. (In Russ.).
- Gareeva E.V. [Application of the method of phytotesting for assessing the environmental safety of the state of the environment within the exploited fields of Gazprom Dobyča Nadym]. *Gazovaja promyšlennost'*. N 2 (764) (2018): pp. 66-72. (In Russ.).
- Hulisz P., Pindral S., Kobierski M., Charzyński P. [Technogenic layers in organic soils as a result of the impact of the soda industry]. *Eurasian Soil Science*. V. 51, N 10 (2018): pp. 1133-1141. (In Russ.).
- Klassifikacija i diagnostika počv SSSR* [Classification and diagnosis of the soils of the USSR]. Moscow, Kolos Publ., 1977. 223 p. (In Russ.).
- Kolesnikov S.I., Aznaurian D.K., Kazev K.S., Val'kov V.F. [Biological properties of south Russian soils: Tolerance to oil pollution]. *Ėkologija*. V. 41, N 5 (2010): pp. 398-404. (In Russ.).
- Lisovitskaya O.V., Terekhova V.A. [Phytotesting: basic approaches, problems of the laboratory technique and modern solutions]. *Doklady po ėkologičeskomu počvovedeniju*. V. 13, N 1 (2010): pp. 1-18. (In Russ.).
- Mayachkina N.V., Chugunova M.V. [Features of soil bioassays to assess their ecotoxicological]. *Vestnik Nižgorodskogo universiteta imeni N.I. Lobachevskogo*. N 1 (2009): pp. 84-93. (In Russ.).

- Nikiforova E.M., Kasimov N.S., Kosheleva N.E. [Long-term dynamics of anthropogenic solonchicity in soils of the eastern okrug of Moscow under the impact of deicing salts]. *Eurasian Soil Science*. V. 50, N 1 (2017): pp. 84-94. (In Russ.).
- Nikolaeva O.V., Terekhova V.A. [Improvement of laboratory phytotest for ecological evaluation of soils]. *Eurasian Soil Science*. V. 50, N 9 (2017): pp. 1105-1114. (In Russ.).
- Redley M., Pankova E.I. [Results of modern studies of saline soils in Europe]. *Eurasian Soil Science*. N 12 (2004): pp. 1473-1485. (In Russ.).
- Scherbak G.G., Fominykh D.E. [Technogenic salinization of soils in the Western Siberia oil fields and their reclaiming]. *Inženernye izyskanija*. N 9 (2012): pp. 66-71. (In Russ.).
- Shunelko E.V., Fedorova A.I. [Environmental assessment of urban soils and identification of the level of toxicity of heavy metals using bioassays]. *Vestnik Voronežskogo gosuniversiteta. Geografija i ekologija*. N 4 (2000): pp. 77-83. (In Russ.).
- Sujetovienė G., Griauslytė L. Toxicity assessment of roadside soil using wild oat (*Avena sativa* L.) and cress (*Lepidium sativum* L.) morphometric and biochemical parameters. *Environmental Research Engineering Management*. V. 46, N 4 (2008): pp. 29-35.
- Suleimanov R.R. *Zasolennye počvy estestvennykh i agrotechnogennykh landšaftov Južnogo Urala. Avtoref. dis. doct. biol. nauk* [Salted soils of natural and agrotechnogenic landscapes of the Southern Urals. Abstract of Doct. dis.]. Ufa, 2010. 45 p. (In Russ.).
- Terekhova V.A. [Soil biotesting: approaches and problems]. *Eurasian Soil Science*. N 2 (2011): pp. 190-198. (In Russ.).
- Terekhova V.A., Gladkova M.M. [Engineered nanomaterials in soil: Problems in assessing their effect on living organisms]. *Eurasian Soil Science*. V. 46, N 12 (2014): pp. 1203-1210. (In Russ.).
- Timofeev M.A., Terekhova V.A., Kozhevnikov P.A. [Biotesting for Cd pollution in soils]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 17. Počvovedenie*. V. 65, N 4 (2010): pp. 179-182. (In Russ.).
- Voronina L.P. *Ėkologičeskie funkcii kompleksa agrokimičeskich sredstv i reguljatorov rosta rastenij v agrocenoze. Avtoref. dokt. diss.* [Ecological functions of agrochemical and plant growth regulators complex in agrocenosis: Abstract Doct. dis.]. Moscow, 2009. 46 p. (In Russ.).

Поступила в редакцию 06.11.2018

#### Об авторах

Еремченко Ольга Зиновьевна, доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой физиологии растений и микроорганизмов  
ФГБОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»  
**ORCID:** 0000-0003-3581-0874  
614990, Пермь, ул. Букирева, 15;  
eremch@psu.ru; (342)2396412

Москвина Наталья Викторовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии растений и микроорганизмов  
ФГБОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»  
**ORCID:** 0000-0001-6749-148X  
614990, Пермь, ул. Букирева, 15;  
nvmoskvina@mail.ru; (342)2396203

Митракова Наталья Васильевна, ассистент кафедры физиологии растений и микроорганизмов  
ФГБОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»  
**ORCID:** 0000-0002-3172-4146  
614099, Пермь, ул. Букирева, 15;  
mitrakovanatalya@mail.ru; (342)2396203

Колбик Алена Евгеньевна, студент биологического факультета  
ФГБОУВО «Пермский государственный

#### About the authors

Eremchenko Olga Zinov'evna, doctor of biology, professor, head of the Department of physiology of plant and microorganisms  
Perm State University.  
**ORCID:** 0000-0003-3581-0874  
15, Bukirev str., Perm, Russia, 614990  
eremch@psu.ru; (342)2396412

Moskvina Natalia Viktorovna, candidate of biology, associate professor Department of physiology of plants and microorganisms  
Perm State University  
**ORCID:** 0000-0001-6749-148X  
15, Bukirev str., Perm, Russia, 614990;  
nvmoskvina@mail.ru; (342)2396203

Mittrakova Natalia Vasil'evna, assistant of department of physiology of plants and microorganisms  
Perm State University.  
**ORCID:** 0000-0002-3172-4146  
15, Bukirev str., Perm, Russia, 614990;  
mitrakovanatalya@mail.ru; (342)2396203

Kolbik Alena Evgen'evna, master student of the biological faculty  
Perm State University.

национальный исследовательский университет»  
**ORCID:** 0000-0003-3324-0003  
614099, Пермь, ул. Букирева, 15;  
alenaKolbik@mail.ru

**ORCID:** 0000-0003-3324-0003  
15, Bukirev str., Perm, Russia, 614990;  
alenaKolbik@mail.ru

Пахоруков Иван Владимирович, магистрант  
биологического факультета  
ФГБОУВО «Пермский государственный  
национальный исследовательский университет»  
**ORCID:** 0000-0001-8152-0283  
14990, Пермь, ул. Букирева, 15;  
Ivan-psu@yandex.ru; (922)3162186

Pakhorukov Ivan Vladimirovich graduate student of  
biological faculty  
Perm State University.  
**ORCID:** 0000-0001-8152-0283  
15, Bukirev str., Perm, Russia, 614990;  
Ivan-psu@yandex.ru; (922)3162186

**Информация для цитирования:**

Еремченко О.З., Москвина Н.В., Митракова Н.В., Колбик А.Е. Оценка экологического состояния засоленных, кислых и щелочных почв методом фитотестирования // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2019. Вып. 1. С. 63–71. DOI: 10.17072/1994-9952-2019-1-63-71.

Eremchenko O.Z., Moskvina N.V., Mitrakova N.V., Kolbik A.E., Pakhorukov I.V. [Assesment of the ecological condition of salted, acid and alkaline soils by the phytotesting method]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 1 (2019): pp. 63-71. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2019-1-63-71.

