

УДК 504.75:631.41(571.12)

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ТЕХНОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ТРАНСПОРТНОЙ ЗОНЫ ВНЕ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

^{1,2}Кайгородов Р.В., ¹Попова Е.И.

¹ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, e-mail: r-kaigorodov@yandex.ru;

²Тобольская комплексная научная станция УрО РАН, Тобольск, e-mail: popova-3456@mail.ru

В транспортной зоне урбанизированных территорий и за их пределами формируются специфические антропогенно-измененные экосистемы. Придорожные пространства на расстоянии 5–10 м от проезжей части характеризуются глубокой трансформацией биотических и абиотических компонентов экосистемы. Почвы преобразуются в техногенные поверхностные образования с нарушенными морфологическими, физическими, химическими и биологическими свойствами. В какой мере ТПО могут осуществлять функции почв в придорожных экосистемах, можно судить по их биологической активности. Экологическое состояние почв транспортной зоны урбанизированных территорий достаточно широко отражено в литературе. В настоящей работе методом фитотестирования на проростках кресс-салата (*Lepidium sativum* L.) дана оценка биологической активности литостратов и органолитостратов придорожных пространств автомагистралей вне городских территорий, пролегающих в Тюменской области. В образцах ТПО изучены биохимические показатели: интенсивность «почвенного дыхания» и уровень активности фермента каталазы. Исследован уровень обменной и актуальной кислотности, содержание органического углерода и гумуса, а также нитрат-ионов. Из хемотоксикологических показателей изучено содержание и подвижность ионов кадмия и свинца. Проведен корреляционный анализ взаимосвязи ростовых показателей тест-культуры (рост и биомасса) с агрохимическими и хемотоксикологическими показателями исследованных ТПО. Биохимические и агрохимические показатели литостратов сопоставлены с данными по реплантоземам придорожных экосистем урбанизированных территорий. Методом фитотестирования установлены низкая биологическая активность ТПО и их неудовлетворительное состояние. Показана высокая вариабельность интенсивности «почвенного дыхания» на разных участках дорог, пониженная относительно городских территорий активность фермента каталазы. Низкая обеспеченность органическим веществом и гумусом, а также кислая и слабокислая среда ТПО обуславливают высокую подвижность свинца и кадмия.

Ключевые слова: техногенные поверхностные образования транспортной зоны, фитотестирование, биологическая активность, биохимические свойства, уровень кислотности, подвижность свинца и кадмия

BIOLOGICAL ACTIVITY OF TECHNOGENIC SURFACE FORMATIONS IN THE TRANSPORT ZONE OUTSIDE URBAN AREAS IN TUMEN REGION

^{1,2}Kaygorodov R.V., ¹Popova E.I.

¹Perm State University, Perm, e-mail: r-kaigorodov@yandex.ru;

²Tobolsk complex scientific station of the Ural Branch of the RAS, Tobolsk, e-mail: popova-3456@mail.ru

In the transport zone of the urbanized territories and behind their borders are formed the specific anthropogenic ecosystems. Roadside areas at distance of 5-10 m from the carriageway are characterized by high transformation of biotic and abiotic components of ecosystem. Soils will be transformed to technogenic surface formations with the broken morphological, physical, chemical and biological properties. In what measure of technogenic surface formations can carry out functions of soils in roadside ecosystems it is possible to estimate on their biological activity. The ecological condition of soils of a transport zone of the urbanized territories is rather widely considered in literature. The aim of our studies was to study biological activity of technogenic surface formations outside urban areas in Tumen region by phytotesting with sprouts of cress (*Lepidium sativum* L.). In samples of technogenic surface formations were studied biochemical indicators: intensity of emission of carbon dioxide and level of activity of catalase. Level of actual and exchangeable acidity, content of organic carbon and humus and also nitrate ions were analyzed. As chemotoxicological properties were determined content and mobility of ions of cadmium and lead. Correlation analysis of the relationship between the growth parameters of the test culture (growth and biomass) and the agrochemical and chemotoxicological parameters of the studied technogenic surface formations was carried out. The low biological activity of technogenic surface formations and their unsatisfactory state were established by phytotesting. A high variability in the intensity of carbon dioxide emission is shown in different studied areas, the catalase enzyme activity is lower relative to urban areas. The low content of organic substances and humus, as well as the acidity level in technogenic surface formations cause high mobility of lead and cadmium.

Keywords: technogenic surface formations of transport zone, phytotesting, biological activity, biochemical properties, acidity level, mobility of lead and cadmium

Вдоль автомагистралей формируются специфические антропогенно-измененные экосистемы, испытывающие постоянное воздействие автотранспорта и периоди-

ческое влияние инженерно-строительных мероприятий при строительстве, эксплуатации и ремонте дорог. Экологическому состоянию урбанизированных территорий,

включая транспортную зону городов, посвящено немало работ [1–3], в том числе и одна из наших последних публикаций [4]. Придорожные участки вне городских территорий исследованы в меньшей степени.

При строительстве автомобильных дорог происходит существенная трансформация всех компонентов экосистем. Часть почвенного покрова изымается полностью и превращается в запечатанные под дорожное полотно экраноземы. Прилегающие к проезжей части почвы частично срезаются, частично перекрываются насыпным материалом и трансформируются в абраземы и литостраты [5].

Кроме механической трансформации компоненты придорожных экосистем подвержены загрязнению. Уровень загрязнения почвенного покрова и растительности зависит от многих факторов, главным образом, от интенсивности движения и удаления от проезжей полосы [6, 7].

В отличие от урбанизированных территорий, где в придорожных экосистемах создаются газоны с насыпным органомным субстратом (реплантозем) и высаживаются древесные и травянистые растения, вдоль автомагистралей вне городов возникают придорожные полосы шириной 5–10 м, лишенные органического материала и растительности [5]. В результате почвенный покров, выполняющий важнейшие экологические и санитарно-гигиенические функции в придорожных экосистемах, заменяется техногенными поверхностными образованиями. ТПО характеризуются изменением морфологических, физических, физико-химических и химических свойств,

что отражается на функционировании биологической фазы, т.е. на биологической активности грунтов.

Наши исследования направлены на оценку биологической активности ТПО для диагностики их экологического состояния в транспортной зоне вне урбанизированных территорий. В настоящей работе проведено фитотестирование придорожных литостратов, исследованы интегральные биохимические показатели (интенсивность почвенного дыхания и активность фермента каталазы), физико-химические параметры (показатели актуальной и обменной кислотности почв), агрохимические показатели (содержание нитратов, органического углерода и гумуса) и хемозкологические показатели ТПО (подвижность ионов свинца и кадмия).

Материалы и методы исследования

В качестве объектов использованы ТПО придорожных пространств, отобранные в июле 2017 г. вблизи (удаление 5 м от края дорожного полотна) автомобильных дорог, соединяющих населенные пункты в Тюменской области (табл. 1). Вдоль исследуемых трасс было заложено 7 участков для отбора образцов ТПО. На каждом участке отбирали по пять точечных проб грунта на расстоянии 1 м друг от друга массой по 0,5 кг и объединяли их в смешанные образцы.

Согласно классификации техногенных поверхностных образований, исследуемые грунты относились к группе натурфабрикатов, подгруппе литостратов, на участке № 6 ТПО принадлежали подгруппе органолитостратов, за счет повышенной доли органического вещества [8].

Таблица 1

Географическое расположение исследуемых придорожных участков

№ участка	Ближайшие населенные пункты	Географические координаты
№ 1	д. Шашова	N 56.35520, E 66.32950
№ 2	с. Упорово-Заводоуковск	N 56.51030, E 66.45680
№ 3	г. Заводоуковск	N 56.52840, E 66.26550
№ 4	г. Ялуторовск	N 56.62510, E 66.26550
№ 5	с. Новоатъялово	N 57.00230, E 66.65780
№ 6	г. Ялуторовск – с. Ярково	N 57.60230, E 67.02990
№ 7	г. Ярково	N 57.60230, E 67.27440

Оценку биологической активности исследуемых литостратов проводили согласно методике «Способ оценки биологической активности и токсичности почв и техногенных почвогрунтов» патент № 2620555. В качестве тест-культуры использовали кресс-салат (*Lepidium sativum* L.), контролем служил вариант с проростками на вермикулите, подкармливаемыми раствором Кнопа. В дополнение к фитотестированию в ТПО изучали активность фермента каталазы [9] и интенсивность «почвенного дыхания» [10]. В ТПО анализировали уровень актуальной и обменной кислотности. Содержание водорастворимой и обменной фракций ионов свинца и кадмия определяли ионселективным методом на иономере «Экотест-120». Подвижность ионов металла выражали отрицательным десятичным логарифмом молярной концентрации соответствующего иона ($-\lg[\text{Cd}^{2+}]$) и ($-\lg[\text{Pb}^{2+}]$). Содержание нитрат-ионов определяли ионселективным методом на иономере «Экотест-120». Содержание органического углерода и гумуса определяли методом Тюрина.

Математическую обработку результатов проводили в программе Past 3.16 с использованием методов описательной статистики, дисперсионного и корреляционного анализа.

Результаты исследования и их обсуждение

Рост и биомасса являются интегральными показателями состояния растений и индикаторами метаболических изменений под влиянием условий произрастания. Многим авторами отмечается снижение роста растений под влиянием химического загрязнения за счет подавления деления и растяжения клеток [11]. В ответ на токсическое действие загрязнения происходит снижение

накопления биомассы растений, главным образом из-за нарушений процесса фотосинтеза [12]. Фотосинтетический аппарат растений проявляет высокую чувствительность к загрязнению окружающей среды и, особенно, к накоплению свинца [13].

Фитотестирование придорожных ТПО показало снижение роста и биомассы на всех исследуемых участках относительно контроля (табл. 2). Наименьшее отличие от контроля отмечено на участке № 6 (дорога г. Ялуторовск – с. Ярково), относящемуся к органолитостратам и обладающему наиболее благоприятными свойствами по сравнению с остальными участками (см. ниже).

В патенте № 2620555 на биотестирование токсичности установлены следующие уровни состояния субстратов:

1. Удовлетворительное – снижение роста и/или биомассы на 10–30% от контроля.
2. Неудовлетворительное – снижение роста и/или биомассы на 30–50%.
3. Опасное (токсичное) – снижение роста и/или биомассы более 50%.

Наиболее угнетенное состояние проростков установлено на ТПО участка № 5 (дорога в 2,5 км юго-западнее с. Новоатъялово).

Биомасса растений проявляла более существенное отклонение от контроля, чем высота проростков, что свидетельствует о высокой чувствительности метаболических процессов растений к состоянию ТПО в условиях эксперимента.

Рост и развитие растений зависят от интенсивности обмена веществ в системе «почва – растения», которая определяется главным образом биологической активностью почвы. В дополнение к фитотестированию ТПО нами был проведен анализ интегральных показателей биологической активности: интенсивность почвенного дыхания (эмиссия углекислого газа) и активности каталазы [14].

Таблица 2

Ростовые показатели и биомасса тест-культуры на исследованных ТПО

№ участка	Рост, см	Снижение относительно контроля, %	Биомасса, г	Снижение относительно контроля, %
№ 1	1,65 ± 0,07	58,5	0,0084 ±	69,2
№ 2	1,37 ± 0,05	65,6	0,0078 ±	71,4
№ 3	2,42 ± 0,13	39,1	0,0131 ±	50,0
№ 4	2,79 ± 1,21	29,9	0,0158 ±	42,1
№ 5	1,10 ± 0,03	72,4	0,005 ±	81,7
№ 6	3,19 ± 0,10	19,5	0,0178 ±	34,8
№ 7	1,95 ± 0,04	50,3	0,0102 ±	62,6
Контроль	3,98 ± 0,21	0,0	0,0273 ±	0,0

Таблица 3

Биохимические показатели исследованных ТПО

№ участка	Интенсивность почвенного «дыхания» (выделение CO ₂ , мл/дм ³ ч)	Активность каталазы (выделение O ₂ , мл/г·мин)
№ 1	4,46	1,52
№ 2	10,52	2,31
№ 3	6,90	2,48
№ 4	11,21	1,15
№ 5	5,82	2,02
№ 6	25,69	2,29
№ 7	18,22	1,41
Реплантоземы городских территорий (по [4])	6,60–8,40	5,20 – 6,80

Таблица 4

Агрохимические свойства исследованных ТПО

№ участка	pHвод.	pHсол.	NO ₃ ⁻ , мг/100 г	Сорг, %	Гумус, %
№ 1	4,62 ±	4,04 ±	27,9 ±	1,1	0,6
№ 2	6,06 ±	5,22 ±	113,2 ±	2,4	0,9
№ 3	5,32 ±	4,79 ±	52,9 ±	1,2	0,8
№ 4	5,33 ±	4,72 ±	51,1 ±	1,4	0,7
№ 5	4,53 ±	3,60 ±	51,7 ±	1,5	0,6
№ 6	6,08 ±	5,55 ±	121,3 ±	3,3	1,8
№ 7	4,81 ±	4,18 ±	39,8 ±	1,3	0,8
Реплантоземы городских территорий	7,4	6,9	223,7	4,3	2,5

Как видно из табл. 3, интенсивность почвенного дыхания существенно варьирует в ТПО исследуемых участков и связана, вероятно, с разным содержанием органического вещества и интенсивностью его разложения, а также с содержанием и подвижностью токсичных металлов: кадмия и свинца. В некоторых участках интенсивность выделения углекислого газа существенно превышает показатели, установленные нами для реплантоземов урбанизированных придорожных экосистем, также расположенных в умеренной природной зоне [4].

Фермент каталаза проявляет высокую чувствительность к загрязнению почв нефтепродуктами и тяжелыми металлами, характеризуется простотой анализа и точностью определения [14]. Активность каталазы проявляла меньшую вариабельность в исследованных ТПО по сравнению с почвенным «дыханием». Ранее нами была показана зависимость активности каталазы от величины pH среды с оптимумом 7,2–7,3 единицы pH [4]. ТПО придорожных полос вне городских территорий обладали кислой и слабокислой средой, за счет чего, вероятно, активность каталазы была существенно ниже, чем в реплантоземах город-

ских территорий, обладающих нейтральной и слабощелочной средой.

Биологическая активность корневой среды и состояние растений существенно зависят от агрохимических свойств почвы. Для характеристики агрохимического состояния исследуемых ТПО нами изучены показатели актуальной и обменной кислотности, содержание органического углерода и гумуса, а также содержание нитрат-ионов (табл. 4).

Как показали результаты, агрохимические показатели сильно варьировали на разных участках ТПО и существенно отличались от значений, установленных для ТПО урбанизированных территорий. Наиболее оптимальные агрохимические свойства были характерны для органолитострата на участке № 6. На остальных участках ТПО характеризовались кислой реакцией среды, низким содержанием органического углерода и гумуса, а также низкой концентрацией нитратов.

Одним из важнейших негативных факторов, действующих в транспортной зоне, является постоянное загрязнение токсичными металлами, прежде всего свинцом и кадмием. В ТПО, существенно отличающихся по уровню устойчивости к загрязнению

от естественных и слабоизмененных почв, проблема загрязнения тяжелыми металлами стоит особенно остро. Пониженное содержание органического вещества, повышенная кислотность, низкий уровень биологической активности повышает подвижность токсичных металлов и их негативное токсическое действие на биологическую фазу транспортных экосистем и опасность загрязнения сопредельных территорий, воздуха, поверхностных и грунтовых вод.

Наибольшее экологическое значение имеют мобильные фракции токсичных металлов, прежде всего водорастворимая и обменная формы. Подвижность свинца и кадмия выражается отрицательным десятичным логарифмом молярной концентрации ионов в вытяжке ($-\lg[\text{Pb}^{2+}]$, $\lg[\text{Cd}^{2+}]$), т.е. снижение значений логарифма концентрации свидетельствует о повышении содержания растворимых форм ионов и увеличении их подвижности.

Как показали результаты (табл. 5), содержание и подвижность металлов существенно варьировали на разных участках придорожных пространств. Содержание и подвижность свинца была существенно

ниже, чем у кадмия во всех исследованных участках, что связано с большим сродством свинца к органическому веществу, ограничивающему миграцию ионов [15].

Повышенное содержание и подвижность токсичных металлов установлены в ТПО на участках № 1 и № 5, минимальное содержание и подвижность свинца и кадмия отмечены на участке № 6 (органолитостат). Для реплантоземов городских территорий подвижность ионов свинца составляет $p\text{Pb}$ 7,5–9,0, подвижность кадмия – $p\text{Cd}$ 5,5–6,5 [2]. По сравнению с реплантоземами городских территорий исследованные ТПО характеризуются повышенной подвижностью водорастворимых форм свинца за исключением участка № 6. Содержание и подвижность свинца и кадмия существенным образом связана с содержанием органического вещества, уровнем кислотности почвы, а также рядом других свойств почвы [15]. Нами был проведен корреляционный анализ взаимосвязи подвижности ионов кадмия и свинца (водорастворимая и обменная форма) с показателями кислотности и уровнем содержания органического вещества ТПО (табл. 6).

Таблица 5
Содержание и подвижность токсичных элементов в исследованных ТПО

№ участка	Pb				Cd			
	Водорастворимый		Обменный		Водорастворимый		Обменный	
	мг/кг	$-\lg[\text{Pb}^{2+}]$	мг/кг	$-\lg[\text{Pb}^{2+}]$	мг/кг	$-\lg[\text{Cd}^{2+}]$	мг/кг	$-\lg[\text{Cd}^{2+}]$
№ 1	1,310	5,17	0,020	7,01	2,74	4,6	0,64	5,23
№ 2	0,025	6,90	0,004	7,57	0,63	5,25	0,52	5,33
№ 3	0,036	6,74	0,006	7,54	0,68	5,21	0,47	5,37
№ 4	0,034	6,76	0,004	7,62	0,61	5,26	0,41	5,44
№ 5	1,160	5,24	0,026	6,94	1,9	4,76	0,54	5,32
№ 6	0,003	7,67	0,001	7,25	0,46	5,38	0,35	5,50
№ 7	0,017	7,05	0,018	7,05	0,41	5,44	0,41	5,43

Примечание. $p\text{Pb}$ – подвижность свинца или $-\lg[\text{Pb}^{2+}]$, $[\text{Pb}^{2+}]$ – концентрация ионов свинца, моль/л; $p\text{Cd}$ – подвижность кадмия или $-\lg[\text{Cd}^{2+}]$, $[\text{Cd}^{2+}]$ – концентрация ионов кадмия, моль/л.

Таблица 6
Корреляция между агрохимическими показателями ТПО и подвижностью ионов кадмия и свинца

Подвижность ионов	$\text{pH}_{\text{вод}}$	$\text{pH}_{\text{сол}}$	$\text{C}_{\text{орг}}$	Гумус
$\text{Pb}_{\text{вод}}$	+0,78	+0,83	+0,86	+0,91
$\text{Pb}_{\text{обм}}$	+0,69	+0,69	+0,93	+0,92
$\text{Cd}_{\text{вод}}$	+0,64	+0,67	+0,68	+0,67
$\text{Cd}_{\text{обм}}$	+0,52	+0,57	+0,56	+0,55

Таблица 7

Корреляция между агрохимическими и биохимическими показателями ТПО и состоянием тест-растений

Показатели тест-культуры	Агрохимические показатели ТПО					Биохимические показатели ТПО	
	pH _{вод}	pH _{сол}	C _{орг}	Гумус	Нитраты	Интенсивность почвенного «дыхания» (выделение CO ₂ , мл/дм ³ ·ч)	Активность каталазы (выделение O ₂ мл/г·мин)
Рост	+0,70	+0,56	+0,65	+0,71	+0,33	+0,64	-0,04
Биомасса	+0,65	+0,50	+0,68	+0,79	+0,28	+0,64	-0,03

Таблица 8

Корреляция между состоянием тест-растений и подвижностью ионов кадмия и свинца

Показатели тест-культуры	Cd		Pb	
	водорастворимый	обменный	водорастворимый	обменный
Рост	+0,62	+0,79	+0,73	+0,49
Биомасса	+0,59	+0,78	+0,70	+0,43

Как показал корреляционный анализ, содержание ионов свинца имеет более сильную отрицательную связь с показателями кислотности и содержанием органического вещества, чем ионы кадмия. Сильная положительная связь подвижности ионов, выраженной отрицательным десятичным логарифмом концентрации, означает снижение подвижности при повышении значений pH (сдвиг в нейтральную и щелочную область) и при увеличении содержания органики в ТПО.

Проведен корреляционный анализ между показателями биологической активности почвы, агрохимическими и хемотоксикологическими показателями. Как видно из табл. 7, рост и биомасса тест-растений наиболее тесно связаны с показателями кислотности, содержанием органического вещества и интенсивностью почвенного дыхания.

Улучшение ростовых процессов у тест-растений происходит при снижении кислотности (повышение значения pH), увеличении массовой доли в субстрате органических веществ. Состояние тест-культуры проявило слабую положительную связь с содержанием нитрат-ионов, и отсутствие связи с активностью каталазы в ТПО.

Рост и биомасса проростков кресс-салата проявили сильную корреляцию с подвижностью водорастворимого и обменного кадмия, а также водорастворимого свинца и менее сильную связь с подвижностью обменной формы свинца (табл. 8).

Заключение

ТПО исследованных придорожных пространств вне урбанизированных территорий на удалении 5–10 м от дорожного полотна характеризовались низкой биологической активностью. Фитотестирование литостратов показало существенное снижение роста и биомассы проростков кресс-салата по сравнению с контролем. Низкая биологическая активность обусловлена низким содержанием органического вещества в ТПО, кислой и слабокислой средой, наличием подвижных и обменных форм свинца и кадмия.

Биохимические и агрохимические свойства исследованных литостратов существенно отличались от показателей (pH, активность каталазы, интенсивность почвенного «дыхания» и др.) характерных для реплантоземов городских территорий умеренной прирдной зоны.

Подвижность токсичных металлов и ростовые показатели тест-растений имели сильную корреляцию с содержанием органического вещества и реакцией среды.

Для повышения биологической активности ТПО, улучшения агрохимических свойств, снижения подвижности токсичных металлов и восстановления их санитарно-гигиенических функций рекомендуется внесение органических материалов (торф, кордревесные отходы и т.д.) и известковых удобрений.

Статья подготовлена при финансовой поддержке ФАНО России в рамках темы ФНИ № 0408-2014-0018 «Анализ состояния

фитоценозов Западной Сибири в современных антропогенных условиях».

Список литературы / References

- Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В. Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья. Пермь: ПГНИУ, 2016. 252 с.
- Eremchenko O.Z., Schestakov I.E., Moskvina N.V. Soils and technogenic surface formations of urban areas of Perm Kama region. Perm: PGNIU, 2016. 252 p. (in Russian).
- Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Каменщикова В.И. Эколого-биологические свойства урбаноземов г. Перми // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле. 2010. № 4. С. 56–63.
- Eremchenko O.Z., Schestakov I.E., Kamenshikova V.I. Ecological-biological properties of urban soil of Perm city // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Biologija. Nauki o zemle. 2010. № 4. P. 56–63 (in Russian).
- Каменщикова В.И., Еремченко О.З., Шестаков И.Е. Биохимическая активность почв г. Перми // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2011. № 2. С. 38–40.
- Kamenshikova V.I., Eremchenko O.Z., Schestakov I.E. Biochemical activity of soil of Perm city // Vestnic Permskogo universiteta. Biologija. 2011. № 2. P. 38–40 (in Russian).
- Кайгородов Р.В., Попова Е.И. Хемоэкологические, физико-химические и биохимические свойства почв транспортной зоны урбанизированных экосистем // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2017. № 3. С. 321–327.
- Kaigorodov R.V., Popova E.I. Chemoecological, physical-chemical and biochemical properties of soils in the transport zone of urban ecosystems // Vestnic Permskogo universiteta. Biologija. 2017. № 3. P. 321–327 (in Russian).
- Коркина Е.А. Самовосстановление нарушенных техногенезом почв Среднего Приобья: монография. Нижневартовск: Изд-во НВГУ, 2015. 158 с.
- Korkina E.A. Self-recovery of the soils of Central Priobye broken tekhnogenezu: monograph. Nizhneartovsk: NVGU, 2015. 158 p. (in Russian).
- Werkenthin M., Kuge B., Wessolek G. Metals in European roadside soil and soil solution – A review. Environ Pollut. 2014. Vol. 189. P. 98–110. DOI: 10.1016/j.envpol.2014.02.025.
- Modabberi S., Tashakor M., Sharifi Soltani N., Hursthouse A.S. Potentially toxic elements in urban soils: source apportionment and contamination assessment. Environmental monitoring and assessment. 2018. Vol. 190 (12). P. 715. DOI: 10.1007/s10661-018-7066-8.
8. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 343 с.
- Classification and diagnostics of Russian soils. Smolensk: Ojkumena, 2004. 343 p. (in Russian).
9. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследования. Ростов н/Д.: Изд-во ЦВВР, 2003. 350 с.
- Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Valkov V.F. Biological diagnostics and indication of soils: methodology and research methods. Rostov n/D.: CVVR, 2003. 350 p. (in Russian).
10. Шарков И.Н. Определение интенсивности продуцирования почвой CO₂ адсорбционным методом // Почвоведение. 1984. № 7. С. 136–143.
- Sharkov I.N. Definition of intensity of a producing by the soil of CO₂ by the adsorptive method // Pochvovedenie. 1984. № 7. P. 136 – 143. (in Russian).
11. Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М. Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам. Ин-т биологии КарНЦ, Петрозаводск, 2011. 77 с.
- Titov A.F., Talanova V.V., Kaznina N.M., Laydinen G.F. et al. Physiological basis of plant resistance to heavy metals. Petrozavodsk, 2007. 77 p. (in Russian).
12. Piovar J., Weidinger M., Backor M., Bačkorová M., Lichtscheidl I. Short-term influence of Cu, Zn, Ni and Cd excess on metabolism, ultrastructure and distribution of elements in lichen *Xantoria parietina* (L.) Th. Fr. Ecotoxicology and environmental safety. 2017. Vol. 145. P. 408–419. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2017.07.063.
13. Ferreyroa G.V., Lagorio M.G., Trinelli M.A., Lavado R.S., Molina F.V. Lead effects on *Brassica napus* photosynthetic organs. Ecotoxicology and environmental safety. 2017. Vol. 140. P. 123–130. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2017.02.031.
14. Даденко Е.В., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Оценка применимости показателей ферментативной активности в биодиагностике и мониторинге почв // Поволжский экологический журнал. 2013. № 4. С. 385–393.
- Dadenko E.V., Denisova T.V., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Applicability of Enzyme Activity Indices for Soil Bioindication and Monitoring // Povolzhskiy ekologicheskiy jurnal. 2013. № 4. P. 385–393 (in Russian).
15. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 438 с.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. Mikroelementy v pochvah i rasteniyah. M: Mir, 1989. 438 p. (in Russian).