

Экологические проблемы и природопользование

УДК 504.064.36:550.4

Д.Н. Андреев, Е.Л. Гатина, Е.А. Дзюба

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТРОПЕ ЗАПОВЕДНИКА «ВИШЕРСКИЙ» С ПРИМЕНЕНИЕМ БИОТЕСТОВОГО И ГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДОВ АНАЛИЗА

В статье отражены результаты по комплексной оценке экологического состояния почв на экологической тропе заповедника «Вишерский». В ходе исследования были применены методы биотестового и геохимического анализов, проведено геоботаническое обследование территории. Тест-объектами в ходе биотестирования были *Daphnia magna* и *Chlorella vulgaris*. При биотестировании на *Chlorella vulgaris* исследовалась репродуктивная тест-функция, проявляющаяся тест-реакцией с подавлением или стимулированием. При биотестировании на *Daphnia magna* тест-функцией является жизнеспособность, а тест-реакцией – их смертность под воздействием вредных веществ. Для исследования геохимических свойств измерялось содержание тяжелых металлов, реакция почв, устанавливался механический состав. По результатам выявлена зависимость между токсичностью почв и содержанием тяжелых металлов. Суммарный показатель химического загрязнения почв находится в пределах допустимой нормы. Выявлено незначительное антропогенное воздействие на исследуемую территорию.

Ключевые слова: биотестирование, тест-функции, тест-реакции, геохимический анализ, заповедник «Вишерский», *Chlorella vulgaris*, *Daphnia magna*.

Особо охраняемая природная территория (ООПТ) Государственный природный заповедник «Вишерский» расположена на крайнем северо-востоке Пермского края, в верховьях реки Вишера. На всех хребтах заповедника ярко выражена высотная поясность. Ниже всех по склону (до 600 м над уровнем моря) простираются высокоствольные темнохвойные таежные леса. С набором высоты они заменяются редколесьями, зарослями луговых трав и кустарников подгольцового пояса (600 – 850 м). Обширные пространства еще более высоких ровных плоскогорий заняты безлесной горной тундрой, а на многих крутых каменистых вершинах представлена скудная растительность холодных горных пустынь – гольцов [1].

По почвенной карте Урала [2] на территории заповедника распространены следующие типы почв: горно-тундровая в сочетании с горно-лесотундровой, горно-лугово-лесной и луговой типичной, горно-лесная кислая неоподзоленная, горно-подзолистая. По карте почв, опубликованной в атласе Пермского края, на 2012 г. [3] выделяется 6 типов почв: горно-тундровые иллювиально-гумусовые, горные лесные бурые, горные луговые, малоразвитые, подзолистые, среднеподзолистые. Наиболее большую площадь занимают горные лесные бурые и горно-тундровые иллювиально-гумусовые почвы.

Реализация комплексной оценки экологического состояния природных комплексов на особо охраняемых территориях актуальна на сегодняшний день [4]. Ее основной целью служит исследование степени антропогенной трансформации природной среды [5]. Для проведения комплексной оценки состояния природных комплексов на территориях ООПТ наиболее часто применяются методы биологической, геохимической и ландшафтной индикации. Но чаще всего для оценки применяется только один из перечисленных методов. Таким образом, необходимость комплексной оценки на территории Вишерского заповедника обусловлена отсутствием оценок ранних стадий трансформации ООПТ [6].

Почва весьма специфический компонент биосферы, поскольку она не только аккумулирует компоненты загрязнений, но и выступает как природный буфер, контролирующий перенос химических элементов и соединений в атмосферу, гидросферу и живое вещество [7].

Как многоуровневая система и гетерогенная среда, почва представляет большую сложность для оценки ее экологического качества и нормирования вредных воздействий [8; 9]. Микроэлементы, поступающие из различных источников, попадают в конечном итоге на поверхность почвы, и их дальнейшая судьба зависит от ее химических и физических свойств. Продолжительность пребывания загрязняющих компонентов в почвах гораздо больше, чем в других частях биосферы. Известна глобально-экологическая роль почвы как природного фильтра для разного рода техногенных загрязните-

лей, среди которых особое место занимают тяжелые металлы [10-12]. Почвы, в силу своих природных свойств, способны накапливать значительные количества загрязняющих веществ [10].

Разнообразные соединения естественного и антропогенного происхождения, накапливаясь в почве, обуславливают ее загрязненность и токсичность. Определить степень токсичности почвы и в целом провести комплексную оценку состояния почв можно на основе проведения биотестирования, так как живые организмы интегрально реагируют на экологическое состояние почв [13].

Изменение химических параметров почвы отражается спустя короткий или длительный период на росте и продуктивности отдельных видов, их популяций или приводит к более или менее сильным нарушениям структуры фитоценозов и даже к развитию сукцессий [7].

По причине физико-химической специфики отдельных почв при одинаковой интенсивности и продолжительности действия химического стрессора степень и форма возникающего химического загрязнения может быть различной. По этой причине решающее значение для действий на биологическом уровне имеет соотношение интенсивности стрессора и специфической реакции буферной системы почвы [7].

Геохимические свойства почв влияют на их токсичность, что отмечено в частности при исследованиях на содержание тяжёлых металлов. Анализ почв на тяжелые металлы необходим при проведении геохимического анализа.

Материалы и методика исследования

Экспериментальная часть работы состояла из нескольких этапов: отбор, подготовка, анализ проб и обработка полученных результатов. Маршрут исследования проходил по экологической тропе Вишерского заповедника от кордона Лыпья до вершины Тулымского камня.

На маршруте для отбора почвенных проб было заложено 9 пробных площадок (рис. 1). При полевом обследовании растительного покрова использованы общепринятые геоботанические методы полевого описания растительности [14-18].

На пробных площадках № 1 – № 5, № 7 пробы отбирались методом конверта, а на пробных площадках № 6, № 8, № 9 методом геохимической съемки, который используется для получения более подробной информации об исследуемом участке [19]. Аналогично методу конверта пробы представляют собой смешанные образцы с 25 точек отбора.

После подготовки проб проводились биотестирования на тест-объектах *Chlorella vulgaris*¹ и *Daphnia magna*². Для биотестирования на *Chlorella vulgaris* применялась лаборатория для биотестирования вод, в состав которой входят культиваторы для водорослей и измеритель оптической плотности суспензии. Для биотестирования на *Daphnia magna* использовался комплекс для биотестирования, состоящий из климатостатов и устройств для экспонирования *Daphnia magna*.

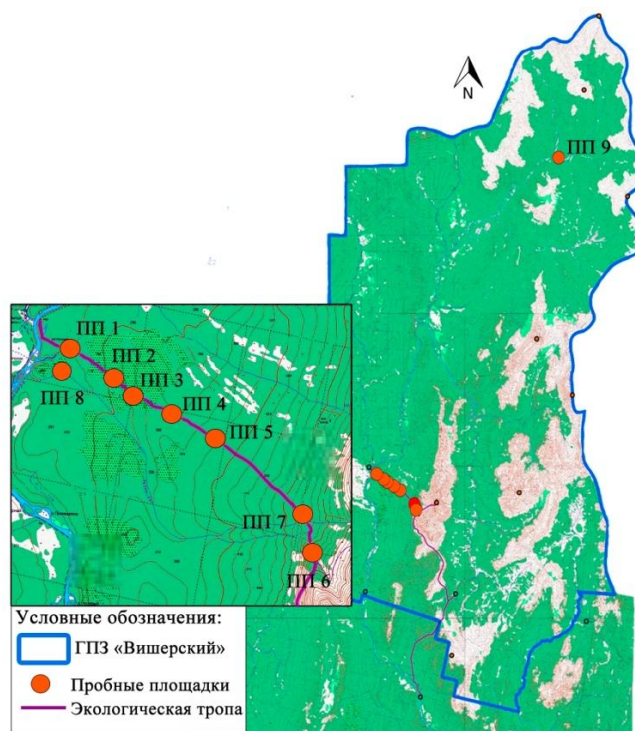


Рис. 1. Точки отбора проб на территории заповедника

¹ ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 (ПНД Ф Т 16.1:2:2.3:3.7-04) Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. М., 2014. 36 с.

² ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06 (ПНД Ф Т 16.1:2:2.3:3.9-06) Методика измерений количества *Daphnia magna* Straus для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления методом прямого счета. М., 2014. 39 с.

Для установления содержания тяжелых металлов в почвах проводился рентгенофлуоресцентный анализ на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС-С», в ходе которого определялось валовое содержание металлов. Также проводились измерения потенциальной и абсолютной кислотностей на основе приготовления солевой и водной вытяжек. Измерения проводились на многопараметровом приборе «Multi-350i». Статистическая обработка данных проводилась в программе Microsoft Excel 2007.

Результаты и их обсуждение

В результате полевых работ было отобрано 105 проб почв из корнеобитаемого слоя, исследовано 9 пробных площадок.

Пробные площадки № 1 и № 8 располагались в елово-пихтовом лесу кислично-мелкопапоротниковом. Древесный ярус образован *Picea obovata*, *Abies sibirica* и в меньшей *Betula pendula*. Формула древостоя 5П4Е1Б, сомкнутость крон 0,4. Средняя высота древостоя 18–20 м, диаметр – 0,22 м. В подросте отмечено возобновление *Picea obovata*. Подлесок образован *Sorbus sibirica*. Кустарниковый ярус развит слабо и состоит из *Rosa acicularis*, *Lonicera xylosteum*. В травяно-кустарничковом ярусе обычны бореальные виды таежного мелкотравья: *Oxalis acetosella*, *Majantemum bifolium*, *Linnaea borealis*. Присутствуют папоротники *Gymnocarpium dryopteris*, *Athyrium filix-femina*. Проективное покрытие травянисто-кустарничкового яруса составляет не более 40 %. Среди мхов преобладают *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*. Синантропные виды не отмечены.

На пробных площадках № 1 и № 8 горно-подзолистые почвы, кислые, на элювии и делювии образовавшиеся из метаморфических и других пород. По гранулометрическому составу среднесуглинистые.

Пробная площадка № 2 располагалась в смешанном лесу. Древесный ярус образован *Betula pubescens* и *Picea obovata*, в меньшей степени в сложении древостоя участвует *Abies sibirica*. Формула древостоя 4Б4Е2П, сомкнутость крон 0,3. Средняя высота *Betula pubescens* 18–20 м, темнохвойные виды высотой не более 10–12. В подросте отмечено возобновление *Picea obovata*. Подлесок сформирован *Salix phylicifolia* и *Sorbus sibirica*. Кустарниковый ярус отсутствует. Среди трав присутствуют *Gymnocarpium dryopteris*, *Majantemum bifolium*, *Equisetum sylvaticum*, *Linnaea borealis*, *Rubus arcticus*, *Calamagrostis langsdorffii*. Изредка встречаются *Cortusa Altaica*, *Vaccinium myrtillus*. Проективное покрытие травянисто-кустарничкового яруса составляет не более 30 %. Отмечены участки зеленых мхов, где преобладает *Hylocomium splendens*. Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса не превышает 30 %. Синантропные виды отсутствуют.

Пробная площадка № 3 располагалась в пихтово-еловом лесу чернично-мелкопапоротниковом. Древесный ярус образован *Picea obovata* и *Abies sibirica*, единично отмечена *Betula pubescens*. Формула древостоя 6Е4Пед.Б, сомкнутость крон 0,4. Средняя высота 20–22 м. В подросте присутствуют *Picea obovata* и *Pinus sibirica*. Подлесок образован *Sorbus sibirica*. В травянисто-кустарничковом ярусе доминируют *Vaccinium myrtillus* и *Gymnocarpium dryopteris*, также встречаются *Majantemum bifolium*, *Linnaea borealis*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Lycopodium annotinum*. Единично отмечен *Solidago virgaurea*. Проективное покрытие травянисто-кустарничкового яруса составляет не более 30 %. Довольно мощный моховой покров сформирован с преобладанием *Hylocomium splendens* и присутствием *Pleurozium schreberi*. Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса достигает 50 %. Синантропные виды отсутствуют.

Пробная площадка № 4 располагалась в пихтово-еловом лесу с черничником. В древесном ярусе преобладает *Picea obovata*, в меньшей степени присутствует *Abies sibirica*, в качестве примеси отмечена *Betula pubescens*, единично произрастает *Pinus sibirica*. Формула древостоя 6ЕЗП1Бед.С(с). Древостой разрежен, сомкнутость крон 0,1. Средняя высота 20–22 м., но отдельные экземпляры *Pinus sibirica* достигают высоты 25 м. В подросте преобладает *Picea obovata*, присутствуют *Abies sibirica*, *Betula pubescens*, *Pinus sibirica*. Подлесок образован *Sorbus sibirica*. В травянисто-кустарничковом ярусе преобладает *Vaccinium myrtillus*, встречаются *Equisetum sylvaticum*, *Majantemum bifolium*, *Lycopodium annotinum*, *Gymnocarpium dryopteris*, *Vaccinium vitis-idaea*. Проективное покрытие травянисто-кустарничкового яруса составляет не более 40 %. Мохово-лишайниковый покров разрежен, в нем доминирует *Pleurozium schreberi*. Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса не превышает 20 %. Синантропные виды отсутствуют.

Пробная площадка № 5 располагалась в ельнике черничнике. В древесном ярусе преобладает *Picea obovata*, в меньшей степени присутствует *Abies sibirica*, в качестве примеси отмечены *Betula pubescens* и *Pinus sibirica*. Формула древостоя 7ЕЗПед.Б,С(с). Древостой разрежен, сомкнутость крон не превышает 0,1. Средняя высота темнохвойных пород 20–22 м, *Betula pubescens* не превышает 15–17 м по высоте, а отдельные экземпляры *Pinus sibirica* возвышаются над остальными деревьями и достигают 25 м. В подросте присутствуют все лесообразующие породы. В травянисто-кустарничковом ярусе явно доминирует *Vaccinium myrtillus*, с меньшим проективным покрытием встречаются *Gymnocarpium dryopteris*, *Linnaea borealis*, *Majantemum bifolium*, *Equisetum sylvaticum*, *Vaccinium vitis-idaea*. Проективное покрытие травянисто-кустарничкового яруса составляет не более 30 %. Среди мхов преобладает *Pleurozium schreberi*. Местами отмечены виды рода *Sphagnum*, *Polytrichum commune*, *Hylocomium splendens*. Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса не превышает 20 %. Синантропные виды отсутствуют.

На пробных площадках № 2–№ 5 горно-подзолистые почвы, кислые, на элювии и делювии образовавшиеся из метаморфических и других пород. По гранулометрическому составу относятся к тяжелым суглинкам.

Пробная площадка № 6 располагалась в березово-пихтовом горном редколесье. Древесный ярус образован *Abies sibirica*, *Betula tortuosa*, с участием *Larix sibirica* и *Pinus sibirica*, единично встречается *Picea obovata*. Характеризуется редким расположением древесных растений, что отражается на сомкнутости, она не более 0,1. Высота деревьев также снижена по отношению к лесным фитоценозам в пониженной части маршрута. Средняя высота древостоя 7–9 м, средняя высота ели – 7,75 м, диаметр – 0,13 м. Формула древостоя 4ПЗБ2Л(с)1С(с)ед.Е. В подросте отмечены *Abies sibirica* и *Picea obovata*, а также *Betula tortuosa*. В подлеске обычна *Sorbus sibirica*. Среди трав и кустарничков преобладает *Vaccinium myrtillus*, образуя практически сплошной покров. С меньшим проективным покрытием представлены *Deschampsia flexuosa*, *Melampyrum pratense*, *Empetrum nigrum*, *Vaccinium uliginosum*. На опушке единично произрастают *Melampyrum pratense* и *Anemone biarmiensis*. Проективное покрытие травянисто-кустарничкового яруса составляет не более 50 %. Напочвенный покров представлен лишайниками рода *Cladonia* и *Pleurozium schreberi*. Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса не превышает 10 %. Синантропные виды отсутствуют.

Пробная площадка № 7 располагалась в разреженном смешанном лесу с черничником. Древесный ярус образован *Abies sibirica* и *Betula pubescens* с меньшим участием *Picea obovata*. Формула древостоя 4П4Б2Е. Древесный ярус характеризуется редким расположением деревьев, сомкнутости не более 0,1. Средняя высота древостоя 12–15 м. В подросте представлены *Picea obovata* и *Abies sibirica*. В подлеске обычна *Sorbus sibirica*. Среди трав и кустарничков преобладает *Vaccinium myrtillus*, в мохово-лишайниковом ярусе *Pleurozium schreberi*. Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса не превышает 10 %. Проективное покрытие травянисто-кустарничкового яруса составляет 60 %. Синантропные виды отсутствуют.

На пробных площадках № 6 и № 7 горно-лесные кислые неоподзоленные почвы, на элювии и делювии образовавшиеся из метаморфических и других пород. По гранулометрическому составу относятся к тяжелым суглинкам.

Пробная площадка № 9 располагалась в разреженном ельнике кислично-папоротниковом. Древесный ярус образован *Picea obovata* с меньшим участием *Abies sibirica*, единично встречаются *Betula pendula*, *Pinus sibirica*. Древесный ярус разрежен, сомкнутость крон не более 0,1, но деревья мощные и высокие. Средняя высота древостоя 20–22 м, при этом средняя высота ели – 18,8 м, отдельные деревья достигают высоты в 24,25 м, средний диаметр ели – 0,32 м, отдельные экземпляры достигают 0,45 м. в диаметре. Формула древостоя 9Е1Пед.Б,С(с). В подросте представлена *Picea obovata*. Подлесок образован с преобладанием *Sorbus sibirica*. Среди трав и кустарничков преобладает *Gymnocarpium dryopteris*. Присутствуют *Oxalis acetosella*, *Veratrum lobelianum*, *Anemone biarmiensis*, *Vaccinium myrtillus*. Проективное покрытие травянисто-кустарничкового яруса составляет не более 30 %. Напочвенный покров представлен лишайниками *Pleurozium schreberi* с небольшой примесью *Polytrichum commune* и лишайниками рода *Cladonia*. Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса не превышает 10 %.

Почвы на пробной площадке № 9 относятся к горно-тундровым в сочетании с горно-лесотундровыми, кислыми, на элювии и делювии образовавшиеся из метаморфических и других пород. По гранулометрическому составу относятся к тяжелым суглинкам.

В заключение по оценке состояния растительного покрова можно сказать, что он не нарушен, синатропные виды отсутствуют, структура фитоценозов типична для таежной зоны.

В таблице 1 представлены расчеты показателей по полученным результатам биотестирования на *Chlorella vulgaris*: токсичная кратность разбавления (*далее*, ТКР), выражающаяся числом раз, и степень токсичности, представленная в баллах от 0 (нетоксичная) до 5 (гипертоксичная), и расчеты показателей по полученным результатам биотестирования на *Daphnia magna*. В данном случае это безвредная кратность разбавления в 48-часовом опыте, при условии смертности *Daphnia magna* не более 10 % (*далее*, БКР₍₁₀₋₄₈₎), выражающаяся числом раз, и степень токсичности, представленная в баллах от 0 (нетоксичная) до 5 (гипертоксичная).

Величина ТКР выше для образцов с более высокой степенью токсичности. Установлено, что во всех опытах с использованием *Chlorella vulgaris* в качестве тест-объекта наблюдалось стимулирование роста на 30 % и более. При этом индексы процентного отклонения от контроля (*I*) во всех случаях имеют отрицательное значение. Индекс *I_m* показывает величину стимулирования роста по сравнению с контролем в меньшей концентрации, при которой наблюдается токсический эффект.

БКР₍₁₀₋₄₈₎ зависит от количества умерших дафний в опыте. Установлено, что во всех опытах *Daphnia magna* в качестве тест-объекта не выявила токсичности исследуемых образцов почв.

Таблица 1

Результаты биотестирования почвенных образцов на *Chlorella vulgaris**

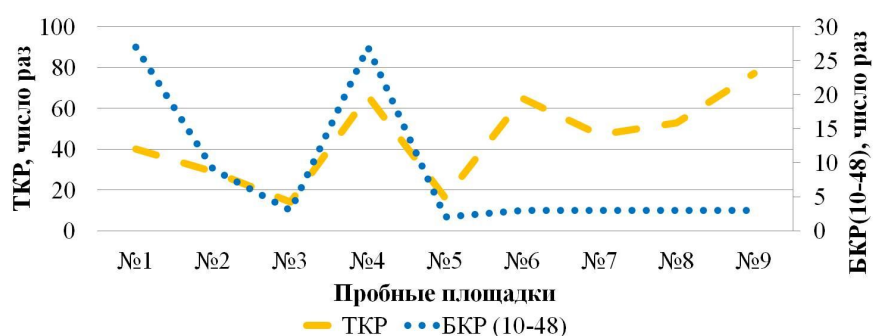
ПП	Степень токсичности		Показатели токсичности	
	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Daphnia magna</i>	ТКР	БКР ₍₁₀₋₄₈₎
№ 1	Сильнотоксичная	нетоксичная	40	27
№ 2	Сильнотоксичная	нетоксичная	29	9
№ 3	Токсичная	нетоксичная	14	3
№ 4	Сильнотоксичная	нетоксичная	66	27
№ 5	Токсичная	нетоксичная	16	2
№ 6	Сильнотоксичная	нетоксичная	65	3
№ 7	Сильнотоксичная	нетоксичная	47	3
№ 8	Сильнотоксичная	нетоксичная	53	3
№ 9	Сильнотоксичная	нетоксичная	77	3

*Примечание. ТКР – токсичная кратность разбавления, число раз; *I_m* – индекс отклонения от контроля, который выше критерия токсичности, для меньшей величины разбавления; *I_b* – индекс отклонения от контроля, который ниже критерия токсичности, для большей величины разбавления.

Следует отметить противоречивый характер полученных на двух тест-объектах данных: тестируемые водные вытяжки не оказали токсического действия на *Daphnia magna*, а в опытах на *Chlorella vulgaris* токсический эффект, который проявлялся в стимулировании роста на 30 % и более, наблюдался в разной степени во всех опытах.

Так, сопоставимые значения ТКР и БКР наблюдаются только у образцов почв с пробных площадок № 2–5 (рис. 2). При этом важно отметить, что различие в результатах биотестирования обусловлено тем, что тест-объекты относятся к разным группам живых организмов, отличающихся по тест-функциям и тест-реакциям: при биотестировании на *Chlorella vulgaris* рассматривается репродуктивная функция, а тест-реакцией является ее подавление (20 % и более) или стимулирование (30 % и более). При биотестировании на *Daphnia magna* тест-функцией является жизнеспособность данных ракообразных, а тест-реакцией – их смертность (выше 10 % – токсическое действие, выше 50 % – острое токсическое действие) под воздействием вредных веществ.

Проведенное исследование по выявлению степени токсичности почвенных образцов показало, что их водные вытяжки проявляют токсический эффект на *Chlorella vulgaris* в виде стимулирования роста на 30 % и более, причем наибольшая токсичность и величина ТКР отмечены на пробных площадках № 1 и № 4. Наименьший показатель ТКР отмечен на пробных площадках № 3 и № 5. Напротив, на *Daphnia magna* данный токсический эффект не проявился при тестировании на них водных вытяжек исследуемых почв, что может быть обусловлено меньшей чувствительностью к содержащимся в них химическим веществам.

Рис. 2. Соотношение показателей ТКР и БКР₍₁₀₋₄₈₎

В таблице 2 указаны кларковые значения по Виноградову [20], зональные фоновые содержания тяжелых металлов для подзолистых почв [21], ПДК³ и ориентировочно допустимой концентрации (далее, ОДК)⁴.

Таблица 2

Кларк, зональные фоновые концентрации и значения ОДК и ПДК, мг/кг

Показатели	Sr	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Fe, %	Mn	Cr	V	Ti
Кларк по Виноградову	300	10	5	50	20	40	8	4,65	850	200	100	4600
Зональная фоновая концентрация для подзолистых почв	238	11,5	3,0	41,3	15,3	23,2	8,4	—	715	180	63,5	4045
ПДК	—	32	2	—	—	—	—	—	1500	—	150	—
ОДК для кислых почв при $pH_{(КС)} \leq 5,5$	—	65	5	110	66	40	—	—	—	—	—	—

В таблице 3 отображены полученные результаты измерений содержания тяжелых металлов в исследуемых образцах почв и параметры статистической обработки данных: среднее значение, стандартное отклонение, стандартная ошибка среднего, значение доверительного интервала и коэффициента вариации.

По результатам измерений содержания стронция (Sr) среди исследуемых образцов почв его максимальное количество (122,027мг/кг) содержится на территории пробной площадки № 4, минимальное значение (45,578мг/кг) на пробной площадке № 7, однако выявленные значения не превышают зональный фоновый уровень (238мг/кг) и значение кларка по Виноградову (300мг/кг).

По результатам измерений содержания свинца (Pb) самое большое его количество содержится на пробных площадках № 2 (22,467 мг/кг) и № 9 (22,402 мг/кг). При этом превышения значений ОДК и ПДК не наблюдалось, хотя содержание свинца было выше фонового уровня (11,5 мг/кг) на всех пробных площадках, кроме пробной площадки № 8. На пробных площадках № 2, № 4 и № 9 это превышение наблюдалось в 2 и более раза, минимальное превышение составляет 10 % на пробной площадке № 5. По сравнению с кларком (10 мг/кг) наблюдалось превышение на всех пробных площадках от 13 % на пробной площадке № 8 и более чем в два раза на пробных площадках № 2, № 4, № 9.

По результатам измерений содержания мышьяка (As) наибольшее его количество наблюдается на пробных площадках № 4 (9,602 мг/кг) и № 8 (9,335 мг/кг), превышая показатели ПДК и ОДК в 5 и 2 раза соответственно. На других площадках также наблюдается превышение ПДК и ОДК в 2 и более раза. По сравнению с фоном (3 мг/кг) наблюдается превышение на всех площадках в 2 и более раз, кроме пробной площадки № 6. По сравнению с кларком (5 мг/кг) наблюдается превышение на 10 % и более на всех площадках, кроме пробных площадок № 6 и № 9.

³ ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 19.01.2006, введ. в действие с 01.04.06. М., 2006.

⁴ Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2511-09, утв. постановл. Гл. гос. сан. врача РФ от 18.05.2009 г. № 32. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс».

Таблица 3

**Валовое содержание тяжелых металлов в почвах государственного природного заповедника
«Вишерский»***

Показатели	Пробные площадки								
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9
Sr									
\bar{x} , мг/кг	71,7	106,3	106,3	122,0	88,7	49,6	45,6	67,5	72,5
σ	3,190	3,544	0,901	6,853	0,249	1,159	0,609	0,450	1,829
SE	1,842	2,046	0,520	3,957	0,144	0,669	0,352	0,260	1,056
ДИ	$\pm 7,925$	$\pm 8,804$	$\pm 2,238$	$\pm 17,02$	$\pm 0,620$	$\pm 2,878$	$\pm 1,513$	$\pm 1,119$	$\pm 4,543$
CV (%)	4,449	3,335	0,848	5,616	0,281	2,334	1,336	0,667	2,522
Pb									
\bar{x} , мг/кг	16,9	22,5	18,3	20,6	12,6	16,3	11,7	11,4	24,4
σ	0,726	0,472	0,815	0,959	0,203	0,548	0,504	0,436	0,658
SE	0,419	0,273	0,470	0,554	0,117	0,316	0,291	0,252	0,380
ДИ	$\pm 1,804$	$\pm 1,173$	$\pm 2,024$	$\pm 2,382$	$\pm 0,505$	$\pm 1,361$	$\pm 1,253$	$\pm 1,084$	$\pm 1,635$
CV (%)	4,298	2,101	4,464	4,657	1,608	3,352	4,326	3,842	2,697
As									
\bar{x} , мг/кг	6,3	7,9	6,8	9,6	7,4	3,2	5,8	9,3	4,9
σ	0,380	0,289	0,281	0,468	0,399	0,385	0,348	0,689	0,222
SE	0,219	0,167	0,162	0,270	0,230	0,222	0,201	0,398	0,128
ДИ	$\pm 0,944$	$\pm 0,719$	$\pm 0,697$	$\pm 1,162$	$\pm 0,991$	$\pm 0,957$	$\pm 0,864$	$\pm 1,712$	$\pm 0,551$
CV (%)	6,036	3,627	4,113	4,869	5,360	12,235	5,981	7,383	4,522
Zn									
\bar{x} , мг/кг	92,2	68,1	58,9	50,4	49,7	25,2	22,9	78,7	63,9
σ	4,442	1,674	0,730	1,484	0,123	0,200	0,157	1,013	0,035
SE	2,565	0,966	0,421	0,857	0,071	0,116	0,090	0,585	0,020
ДИ	$\pm 11,04$	$\pm 4,158$	$\pm 1,813$	$\pm 3,688$	$\pm 0,306$	$\pm 0,498$	$\pm 0,389$	$\pm 2,515$	$\pm 0,087$
CV (%)	4,816	2,458	1,238	2,944	0,248	0,797	0,682	1,286	0,055
Cu									
\bar{x} , мг/кг	45,0	42,1	46,9	47,4	45,7	44,2	43,8	44,8	46,9
σ	2,450	0,735	1,147	1,796	1,162	0,751	1,271	1,047	0,628
SE	1,414	0,424	0,662	1,037	0,671	0,434	0,734	0,604	0,363
ДИ	$\pm 6,087$	$\pm 1,825$	$\pm 2,850$	$\pm 4,463$	$\pm 2,887$	$\pm 1,867$	$\pm 3,158$	$\pm 2,601$	$\pm 1,560$
CV (%)	5,443	1,746	2,448	3,787	2,543	1,702	2,904	2,339	1,338
Ni									
\bar{x} , мг/кг	34,7	33,8	29,9	28,6	28,9	32,2	15,7	34,5	34,4
σ	0,710	1,607	0,437	1,414	0,129	0,619	0,246	1,289	0,797
SE	0,410	0,928	0,252	0,816	0,075	0,357	0,142	0,744	0,460
ДИ	$\pm 1,763$	$\pm 3,993$	$\pm 1,086$	$\pm 3,513$	$\pm 0,321$	$\pm 1,538$	$\pm 0,611$	$\pm 3,203$	$\pm 1,979$
CV (%)	2,044	4,755	1,465	4,942	0,447	1,925	1,568	3,737	2,313
Co									
\bar{x} , мг/кг	12,5	13,2	11,7	8,9	11,6	33,0	1,0	13,3	9,5
σ	0,878	0,661	0,565	0,263	0,390	1,400	0,065	1,015	0,439
SE	0,507	0,382	0,326	0,152	0,225	0,808	0,037	0,586	0,254
ДИ	$\pm 2,182$	$\pm 1,642$	$\pm 1,403$	$\pm 0,653$	$\pm 0,969$	$\pm 3,478$	$\pm 0,161$	$\pm 2,521$	$\pm 1,091$
CV (%)	7,021	5,001	4,821	2,945	3,365	4,239	6,480	7,614	4,618
Fe									
\bar{x} , %	4,3	3,6	4,0	3,7	3,9	3,2	3,8	5,6	4,6
σ	0,268	0,083	0,306	0,149	0,109	0,136	0,260	0,333	0,073
SE	0,155	0,048	0,176	0,086	0,063	0,079	0,150	0,192	0,042
ДИ	$\pm 0,666$	$\pm 0,205$	$\pm 0,759$	$\pm 0,369$	$\pm 0,271$	$\pm 0,338$	$\pm 0,646$	$\pm 0,826$	$\pm 0,180$
CV (%)	6,220	2,327	7,607	4,052	2,771	4,248	6,899	5,909	1,570

Окончание табл. 3

Mn									
\bar{x} , мг/кг	549	627	544	383	522	116	142	479	396
σ	30,769	6,622	1,235	2,065	0,520	0,948	0,813	1,290	4,026
SE	17,764	3,823	0,713	1,192	0,300	0,547	0,469	0,745	2,325
ДИ	±76,44	±16,45	±3,067	±5,131	±1,292	±2,354	±2,019	±3,204	±10,003
CV (%)	5,595	1,056	0,227	0,538	0,100	0,817	0,572	0,269	1,016
Cr									
\bar{x} , мг/кг	135	131	143	129	128	165	118	139	162
σ	7,595	2,294	0,628	0,805	1,150	0,989	1,841	0,625	0,976
SE	4,385	1,324	0,363	0,465	0,664	0,571	1,063	0,361	0,564
ДИ	±18,86	±5,699	±1,560	±2,001	±2,856	±2,457	±4,575	±1,553	±2,424
CV (%)	5,635	1,749	0,439	0,626	0,896	0,600	1,560	0,448	0,604
V									
\bar{x} , мг/кг	107	80	89	96	102	51	71	113	128
σ	7,482	4,580	1,115	0,258	0,552	0,932	1,057	0,847	1,970
SE	4,320	2,644	0,644	0,149	0,319	0,538	0,610	0,489	1,137
ДИ	±18,58	±11,38	±2,77	±0,642	±1,373	±2,315	±2,627	±2,104	±4,894
CV (%)	6,984	5,759	1,258	0,270	0,543	1,827	1,493	0,747	1,541
Ti									
\bar{x} , мг/кг	8373	6963	9380	9130	9387	7533	8857	9257	12340
σ	512	176	204	373	386	610	237	680	800
SE	295,7	101,7	117,9	215,5	222,6	352	136,8	392,3	461,9
ДИ	±1272	±438	±507	±927	±958	±1514	±589	±1688	±1987
CV (%)	6,1	2,5	2,2	4,1	4,1	8,1	2,7	7,3	6
*Примечание:					SE – стандартная ошибка среднего				
\bar{x} – среднее содержание элемента в почве					ДИ – доверительный интервал				
σ – стандартное отклонение					CV (%) – коэффициент вариации				

По содержанию цинка (Zn) наибольшее количество по результатам измерений наблюдается на территории пробных площадок № 1 (92,224 мг/кг) и № 8 (78,731 мг/кг), что составляет превышение фона (41,3 мг/кг) в 2 раза, кларка (50 мг/кг) более чем на 50 %. По показателю ОДК (110 мг/кг) превышений не наблюдается ни на одной пробной площадке. Содержание тяжелых металлов превышает кларковую и фоновую величины на пробных площадках № 6 и № 7, на остальных пробных площадках превышение составляет не более 50 %.

Было установлено, что содержание меди (Cu) по пробным площадкам носит равномерный характер. Полученные значения не превышают показатель ОДК (55 мг/кг), однако наблюдается превышение фона (15,33 мг/кг) и кларка (20 мг/кг) более чем в 3 и 2 раза соответственно.

Равномерное распределение наблюдается также по содержанию никеля (Ni), кроме пробной площадки № 7 (15,696 мг/кг). На всех остальных пробных площадках наблюдается превышение фоновой величины (23,2 мг/кг) на 20 % и более, а по показателю ОДК (40,5 мг/кг) и кларку (40 мг/кг) превышений не наблюдается.

По содержанию кобальта (Co) больше всего выделяется пробная площадка № 6 (33,024 мг/кг), где было отмечено превышение фона (8 мг/кг) и кларка (8,4 мг/кг) в 4 раза. Минимальное содержание выявлено на пробной площадке № 7 (1,001 мг/кг). На остальных пробных площадках наблюдается равномерное распределение и превышение значений фона и кларка не более чем на 60 %.

По содержанию марганца (Mn) по сравнению со значениями ПДК (1500 мг/кг), фона (715 мг/кг) и кларка (850 мг/кг) превышений не наблюдается. Наименьшее количество Mn выявлено на пробных площадках № 6 и № 7. Наибольшее количество на пробной площадке № 2.

По содержанию хрома (Cr) во всех исследуемых образцах по значениям фона (180 мг/кг) и кларка (200 мг/кг) превышений не отмечалось. Больше содержание Cr было отмечено на пробных площадках № 6 и № 9, наименьшее содержание на пробной площадке № 7.

Наибольшее содержание ванадия (V) наблюдается на территории пробной площадки № 9 (127,884 мг/кг). По ПДК (150 мг/кг) превышений не наблюдается. По значениям фона (63,5 мг/кг) и кларка (100 мг/кг) наблюдается превышение на всех пробных площадках от 10 до 100 %, кроме пробной площадки № 6 (50,99 мг/кг).

Наибольшее содержание титана (Ti) выявлено на территории пробной площадки № 9 (12340 мг/кг), что превышает значения фона (4045 мг/кг) и кларка (4600 мг/кг) более чем в 2 раза. На других пробных площадках отмечается равномерное распределение и превышение на 50 % и более значений фона и кларка.

Содержание железа (Fe) в анализируемых образцах варьировало от 3 % (пробная площадка № 6) до 5 % (пробная площадка № 8). В целом распределение между анализируемыми почвами равномерное. Содержание железа в почве не подлежит нормированию на территории РФ.

По полученным данным содержания элементов в почвах и фоновых концентраций были рассчитаны коэффициенты их концентрации (Kc) и суммарные показатели загрязнения почв (Zc), которые представлены в табл. 4.

Таблица 4

Коэффициент концентрации химического вещества и суммарный показатель загрязнения почвенных образцов заповедника «Вишерский»

ПП	Kc											Zc, фон
	Sr	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Mn	Cr	V	Ti	
№ 1	0,30	1,47	2,1	2,23	2,94	1,5	1,49	0,77	0,75	1,69	2,07	7,31
№ 2	0,45	1,95	2,66	1,65	2,75	1,46	1,57	0,88	0,73	1,25	1,72	7,07
№ 3	0,45	1,59	2,27	1,43	3,06	1,29	1,39	0,76	0,8	1,4	2,32	6,75
№ 4	0,51	1,79	3,2	1,22	3,1	1,23	1,06	0,54	0,71	1,51	2,26	7,14
№ 5	0,37	1,1	2,48	1,2	2,99	1,25	1,38	0,73	0,71	1,6	2,32	6,13
№ 6	0,21	1,42	1,05	0,61	2,89	1,39	3,93	0,16	0,92	0,8	1,86	5,23
№ 7	0,19	1,01	1,94	0,56	2,86	0,68	0,12	0,2	0,66	1,12	2,19	1,52
№ 8	0,28	0,99	3,11	1,91	2,93	1,49	1,59	0,67	0,78	1,79	2,29	7,81
№ 9	0,30	2,12	1,64	1,55	3,07	1,48	1,13	0,55	0,9	2,01	3,27	8,03

По суммарному показателю загрязнения (Zc) на всех пробных площадках наблюдается допустимый уровень загрязнения (меньше 16) от 1,52 на пробной площадке № 7 до 8,03 на пробной площадке № 9 (рис. 3). Среднее значение суммарного коэффициента загрязнения равно 6,34.

Характеризуя кислотность, оценивали показатели актуальной ($pH_{(H_2O)}$) и потенциальной ($pH_{(KCl)}$) кислотности (рис. 4).

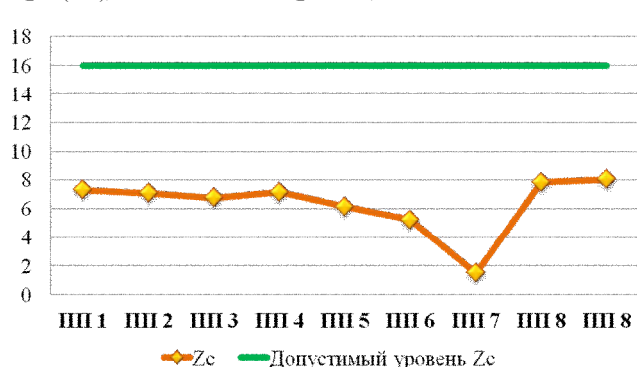


Рис. 3. Суммарный показатель загрязнения почв

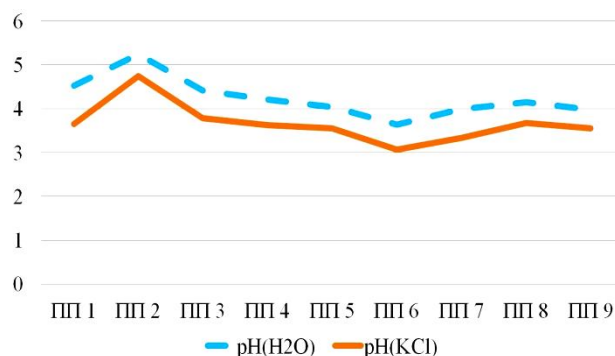


Рис. 4. Абсолютная и потенциальная кислотности почв

В целом можно отметить, что все почвы являются кислыми. Также выявлена разница между актуальной и потенциальной кислотностями, которая примерно равна для всех исследованных почв.

Существует большое количество подходов для оценки состояния окружающей среды с применением биологического тестирования и геохимических методов анализа, принципиально отличающихся друг от друга. В исследованиях с применением данных методов используются различные па-

раметры. Результаты биотестирования представляют собой интегральную характеристику, отражающую степень токсичности, причем этот параметр рассматривается для конкретного тест-объекта. Для получения наиболее адекватной характеристики при оценке состояния окружающей среды используется не менее двух тест-объектов. В то же время результатом геохимического анализа почв является количественный или качественный состав почв и их свойства.

В данном исследовании одновременно были применены биотестирование, геохимический анализ и геоботаническое обследование территории. Корреляционный анализ полученных данных показал влияние содержания некоторых металлов на степень токсичности. Увеличение содержания Mn, As и Sr в почве ведет к уменьшению значения ТКР. Напротив, увеличение содержания в почвах Pb, Cr и Ti влияет на увеличение значения ТКР. При увеличении содержания Sr, Pb, As, Zn, Cu и Mn и при уменьшении содержания Cr и Ti наблюдается увеличение значения БКР₍₁₀₋₄₈₎.

По мнению Тереховой [9] биотестирование является эффективным методом оценки потенциальной опасности химического, физического или биологического воздействия на почву.

Фитотоксичное действие тяжелых металлов проявляется, как правило, при высоком уровне техногенного загрязнения ими почв и во многом зависит от свойств и особенностей поведения конкретного металла. Однако в природе ионы металлов редко встречаются изолированно друг от друга. Поэтому разнообразные комбинативные сочетания и концентрации разных металлов в среде приводят к изменениям свойств отдельных элементов в результате их синергического или антагонистического воздействия на живые организмы. Например, смесь Zn и Cu в пять раз токсичнее, чем арифметически полученная сумма их токсичности, что обусловлено синергизмом при совместном влиянии этих элементов. Подобным образом действует и смесь Zn с Ni. Однако существуют наборы металлов, совместное действие которых проявляется аддитивно. Ярким примером этого являются Zn и Cd, проявляющие взаимный физиологический антагонизм [10].

Очевидны проявления синергизма и антагонизма металлов и в их многокомпонентных смесях. Поэтому суммарный токсикологический эффект от загрязнения среды тяжелыми металлами зависит не только от набора и уровня содержания конкретных элементов, но и особенностей их взаимного воздействия на биоту. Таким образом, влияние тяжелых металлов на живые организмы весьма разнообразно, и для его оценки использование только содержания металлов в почвах недостаточно, необходимо применять интегральные методы оценки состояния окружающей среды, в частности биотестирование, что было реализовано в данном исследовании для комплексной оценки состояния почв.

Заключение

Получение наиболее полной достоверной информации о состоянии экосистем всегда было первоочередной задачей исследователей, занимающихся охраной окружающей среды. Однако полный набор факторов, воздействующих на такую сложную систему, как природная среда, практически невозможно учесть. При этом господствующие в России подходы не позволяют реально оценивать состояние экосистем. Современная система санитарно-гигиенических нормативов, по которым ведется учет ограниченного спектра загрязняющих веществ, не учитывает синергетический эффект их воздействия. Оценка негативного воздействия на окружающую среду ограничивается установленной системой нормативов, а методы интегрального анализа, учитывающие совокупное воздействие на окружающую среду, носят только рекомендательный характер, и редко их применение является обязательным.

Одним из таких методов является биотестирование, результатом которого является интегральная характеристика, выражающая степень токсичности тестируемых сред. Биотестирование еще с середины XX в. применяется при оценке состояния окружающей среды, но единой системы в данном направлении так и не сформировалось, не достаточно разработана также нормативно-правовая база. При биотестировании почв на *Chlorella vulgaris* проявился токсический эффект в виде стимулирования роста на 30 % и более во всех почвенных образцах, а при биотестировании на *Daphnia magna* токсический эффект не проявился.

Показано, что реакция водных вытяжек из почв исследованных образцов носит кислый характер. Кроме того, было установлено, что суммарный уровень загрязнения тяжелыми металлами находится в пределах допустимой величины. Выявлена высокая степень корреляции этого показателя с содержанием цинка, никеля и марганца. Также определена высокая степень корреляции между высотой над уровнем моря пробных площадок и содержанием мышьяка, цинка, марганца и в целом суммарного показателя загрязнения – с повышением высоты их значение уменьшается. Практически по всем определяемым тяжелым металлам наблюдается превышение фоновой концентрации, кларков по

Виноградову. Установлено, что уровень химического загрязнения почв не превышает допустимых значений. Суммарный показатель химического загрязнения находится в пределах допустимого. Проведенный анализ в целом показал незначительную степень антропогенного воздействия на почвенный покров заповедника. Можно сделать вывод об отсутствии антропогенной трансформации природной среды на территории заповедника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов В. Вишерский заповедник // Активный отдых на Урале. 2008. URL: http://nordural.ru/article/visherskiy_zapovednik/ (дата обращения: 25.06.2015).
2. Богатырев К.П., Ногина Н.А. Почвы горного Урала // Тр. Почв. ин-та АН СССР. 1962. С. 5-48.
3. Атлас Пермского края / под общ. ред. А.М. Тартаковского. Пермь: Перм. гос.-нац. иссл. ун-т., 2012. 124 с.
4. Андреев Д.Н. Экогеохимическая диагностика антропогенной трансформации особо охраняемых природных территорий // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2013. № 3. С. 3-9.
5. Бузмаков С.А. Антропогенная трансформация природной среды // Географический вестн. Экология и природопользование. 2012. № 4. С. 46-50.
6. Андреев Д.Н. Методика комплексной диагностики антропогенной трансформации особо охраняемых природных территории // Географический вестн. Физическая география и геоморфология. 2012. № 4. С. 4-10.
7. Багдасарян А.С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов: дис. ... канд. биол. наук. Ставрополь, 2005. 159 с.
8. Бардина Т.В., Чугунова М.В., Бардина В.И. Изучение экотоксичности урбаноземов методами биотестирования // Живые и биокосные системы. 2013. Вып. 5. Режим доступа: <http://www.jbks.ru/archive/issue-5/article-8> (дата обращения: 21.06.2015).
9. Терехова В.А. Биотестирование почв: подходы и проблемы // Почвоведение. 2011. № 2. С. 190-198.
10. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
11. Аржанова В.С. Миграция микроэлементов в почвах (по данным лизиметрических исследований) // Почвоведение. 1977. № 4. С. 71-77.
12. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука, 1991. 51 с.
13. Еремченко О.З., Москвина Н.В., Шестаков И.Е., Швецов А.А. Использование тест-культур для оценки экологического состояния городских почв // Вестн. Тамбовского гос. ун-та. Т. 19, вып. 5. С. 1280-1283.
14. Вышивкин Д.Д. Геоботаническое картографирование. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. 178 с.
15. Грибова С.А., Исаченко Т.И. Картирование растительности в съемочных масштабах // Полевая геоботаника. 1972. Т. 4. С. 137-330.
16. Корчагин А.А. Внутривидовой (популяционный) состав растительных сообществ и методы его изучения // Полевая геоботаника. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1964. Т. 3. С. 64.
17. Нешатаев Ю.Н. Методы анализа геоботанических материалов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. 192 с.
18. Понятовская В.М. Учет обилия и особенности размещения видов в естественных растительных сообществах // Полевая геоботаника. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1964. Т. 3. С. 209-299.
19. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия: учебник. М.: Логос, 2000. 627с.
20. Алексеенко В.А., Бузмаков С.А., Панин М.С. Геохимия окружающей среды: учеб. пособие для вузов. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2013. 359 с.
21. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра. 1990. 335 с.

Поступила в редакцию 27.01.16

D.N. Andreev, E.L. Gatina, E.A. Dzyuba

INTEGRAL ASSESSMENT OF SOILS ECOLOGICAL STATE IN THE ECOLOGICAL PATH OF «VISHERSKY» RESERVE BY APPLICATION OF BIOASSAY AND GEOCHEMICAL METHODS

The paper deals with the integral assessment of soils ecological state in the ecological path of «Vishersky» reserve. Bioassay and geochemical methods were used and geobotanical description of the area was performed. *Daphnia magna* and *Chlorella vulgaris* served as test objects during the bioassay. A reproductive test function evident as test reaction of either inhibition or stimulation was investigated during *Chlorella vulgaris* bioassay while *Daphnia magna* bioassay was accompanied with viability test function and death rate under harmful compounds test reaction. For geochemical estimations the heavy metal content, as well as soil acidity and grain-size distribution were established. The results revealed the correlation between soil toxicity and heavy metal content. Cumulative chemical pollution of soils is in the limits of standard. Man-made load determined was imperceptible.

Keywords: bioassay, test functions, test reactions, geochemical analysis, «Vishersky» reserve, *Chlorella vulgaris*, *Daphnia magna*.

REFERENCE

1. Semenov V. [Vishera Reserve], in *Aktivnyj otdyh na Urale*, 2008, Available at: http://nordural.ru/article/visher-skiy_zapovednik/ (accessed: 25.06.2015) (in Russ.).
2. Bogatyrev K.P. and Nogina N.A. [The soils of the mountain Urals], in *Tr. Pochv. in-ta AN SSSR*, 1962, pp. 5-48
3. Atlas Permskogo kraja / Tartakovskogo A.M. (ed.), Perm: Perm. gos. - nac. issl. un-t., 2012, 124 p. (in Russ.).
4. Andreev D.N. [Ecogeochemical diagnosis of anthropogenic transformation of protected areas], in *Vestn. Udm. un-ta. Ser. Biologija. Nauki o zemle*, 2013, no. 3, pp. 3-9 (in Russ.).
5. Buzmakov S.A. [Anthropogenic transformation of the environment], in *Geograficheskij vestnik. Ekologija i prirodopol'zovanie*, 2012, no. 4, pp. 46-50 (in Russ.).
6. Andreev D.N. [Methods of complex diagnostics of anthropogenic transformation of specially protected natural territories], in *Geograficheskij vestnik. Fizicheskaja geografija i geomorfologija*, 2012, no.4, pp. 4-10 (in Russ.).
7. Bagdasarjan A.S. [The bioassay of soil technogenic zones of urban areas with plant organisms], Cand. Biol. sci. diss., Stavropol, 2005, 159 p. (in Russ.).
8. Bardina T.V., Chugunova M.V. and Bardina V.I. [Study of ecotoxicity bioassay methods urbanozem], in *Zhivye i biokosnye sistemy*, 2013, no. 5, Available at: <http://www.jbks.ru/archive/issue-5/article-8> (accessed: 21.06.2015) (in Russ.).
9. Terehova V.A. [Biotesting soils: Approaches and Challenges], in *Pochvovedenie*, 2011, no. 2, pp. 190-198 (in Russ.).
10. Alekseev Ju.V. *Tjazhelye metally v pochvah i rastenijah* [Heavy metals in soils and plants], L.: Agropromizdat, 1987, 142 p. (in Russ.).
11. Arzhanova V.S. [Migration of trace elements in soils (according lysimetric Research)], in *Pochvovedenie*, 1977, no. 4, pp. 71-77 (in Russ.).
12. Il'in V.B. *Tjazhelye metally v sisteme pochva-rastenie* [Heavy metals in the soil-plant system], Novosibirsk: Nauka, 1991, 51 p. (in Russ.).
13. Eremchenko O.Z., Moskvina N.V., Shestakov I.E. and Shvecov A.A. [Using the test cultures to assess the ecological state of urban soils], in *Vestn. Tambovskogo gos. un-ta*, 2014, vol. 19, no. 5, pp. 1280-1283 (in Russ.).
14. Vyshivkin D.D. *Geobotanicheskoe kartografirovanie* [Geobotanical mapping], M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1977, 178 p. (in Russ.).
15. Gribova S.A. and Isachenko T.I. [Mapping vegetation in shooting], in *Polevaja geobotanika*, 1972, vol. 4, pp. 137-330 (in Russ.).
16. Korchagin A.A. [Intraspecific (population) the composition of plant communities and the methods of its study], in *Polevaja geobotanika*, M.: Izdatel'stvo Akademii Nauk SSSR, 1964, vol. 3, p. 64 (in Russ.).
17. Neshataev Ju.N. *Metody analiza geobotanicheskikh materialov* [Methods of analysis of geo-botanical materials], L.: Izd-vo LGU, 1987, 192 p. (in Russ.).
18. Ponjatovskaja V.M. [Accounting and features an abundance of accommodation types in the natural plant communities], in *Polevaja geobotanika*, M.: Izdatel'stvo Akademii Nauk SSSR, vol. 3, pp. 209-299.
19. Alekseenko V.A. *Ekologicheskaja geohimija: uchebnik* [Environmental Geochemistry: a textbook], M.: Logos, 2000, 627 p. (in Russ.).
20. Alekseenko V.A., Buzmakov S.A. and Panin M.S. *Geohimija okruzhajuschej sredy: ucheb. posobie dlja vuzov* [Environmental Geochemistry: Textbook, manual for schools], Perm: Perm. gos. nac. issl. un-t, 2013, 359 p. (in Russ.).
21. Saet Ju.E., Revich B. A. and Janin E. P. *Geohimija okruzhajuschej sredy* [Geochemistry of the environment], M.: Nedra, 1990, 335 p. (in Russ.).

Андреев Дмитрий Николаевич,
кандидат географических наук,
заведующий лабораторией экологии и охраны природы
E-mail: andreev@psu.ru

Гатина Евгения Леонидовна,
кандидат биологических наук, доцент кафедры
биогеоценологии и охраны природы
E-mail: suslovael@mail.ru

Дзюба Екатерина Алексеевна, магистр
E-mail: aea_eco@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Пермский государственный
национальный исследовательский университет»
614990, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15

Andreev D.N.,
Candidate of Geography, Chief of Laboratory
of ecology and environment protection
E-mail: andreev@psu.ru

Gatina E.L.,
Candidate of Biology, Associate Professor at Department
of biogeocenology and environment protection
E-mail: suslovael@mail.ru

Dzyuba E.A., master degree student
E-mail: aea_eco@mail.ru

Perm State National Research University
Bukireva st., 15, Perm, Russia, 614990