

Оценка степени антропогенной нагрузки на почвы г. Витебска по основным диагностическим показателям

М.А. Шорец, Д.А. Орлова, О.М. Балаева-Тихомирова
Учреждение образования «Витебский государственный университет
имени П.М. Машерова»

В результате антропогенной деятельности ионы тяжелых металлов, попадая в почву, включаются в естественные циклы, нарушая нормальное функционирование почвенных ферментов и, как следствие, всей почвенной системы.

Цель работы – оценить степень антропогенной нагрузки на почвы г. Витебска по содержанию подвижных форм металлов и ее ферментативной активности.

Материал и методы. *Материалом исследования были почвы с различной антропогенной нагрузкой. Исследовались основные диагностические показатели состояния почвы: концентрации подвижных форм химических элементов в почве (Cu^{2+} , Fe^{3+} , Hg^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+}); активность почвенных ферментов (каталазы, уреазы, протеазы, инвертазы). Спектрофотометрическими и титриметрическими методами была установлена зависимость основных диагностических показателей друг от друга.*

Результаты и их обсуждение. *Ферментативная активность, концентрация тяжелых металлов и степень антропогенной нагрузки на почву являются основными диагностическими показателями, характеризующими экологическое состояние почв, испытывающих интенсивное антропогенное влияние. Данные показатели находятся в тесной взаимосвязи: на ферментативную активность почв (эколого-функциональное состояние почвы) влияет содержание ионов тяжелых металлов, концентрация которых зависит от степени антропогенного воздействия на данную почву.*

Концентрация ионов цинка во всех группах почв значительно превышает ПДК. Концентрация ионов меди незначительно превышает ПДК. Концентрация ионов свинца в данных группах почв низкая по сравнению с данными ПДК. Содержание ионов железа и ртути очень низкое по сравнению с данными ПДК.

Активность каталазы и протеазы в группе 3, уреазы в группе 4 высокая по сравнению со средней активностью фермента. Активность каталазы в группах 1–3, 6, протеазы в группах 1, 2, 4, 5, инвертазы в группах 1–6, уреазы в группе 2 средняя. Низкая активность фермента зафиксирована у каталазы в группе 5, у протеазы в группе 6, у уреазы в группах 1, 3, 5, 6.

Заключение. *Выявлено, что чем больше концентрация ионов тяжелых металлов находится в почве, тем слабее активность почвенных ферментов. Отмечено: наибольшая концентрация ионов металлов обнаружена в почве вблизи железной дороги, что сопряжено со сниженной активностью почвенных ферментов, а наименьшая концентрация ионов тяжелых металлов – в парке имени Фрунзе, что сочетается с наибольшей ферментативной активностью почвы.*

Ключевые слова: *почва, тяжелые металлы, ферментативная активность, подвижные формы, антропогенная нагрузка.*

Key Diagnostic Parameters Assessment of Anthropogenic Load on the Soil of Vitebsk

М.А. Shorets, D.A. Orlova, O.M. Balayeva-Tikhomirova
Educational Establishment «Vitebsk State P.M. Masherov University»

As a result of human activity, heavy metal ions, when which get into soil, are included in the natural cycle, disrupting the normal functioning of soil enzymes, and as a consequence, the entire soil system.

The purpose is to estimate the degree of anthropogenic load on the soil of Vitebsk from the point of view of the content of mobile forms of metals and its enzymatic activity.

Material and methods. *The material of the study was the soil with different anthropogenic pressure. Main diagnostic indicators of soil condition were investigated: concentration of mobile forms of chemical elements in the soil (Cu^{2+} , Fe^{3+} , Hg^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+}); activity of soil enzymes (catalase, urease, protease, invertase). Titrimetric and spectrophotometric methods identified the dependence of the main diagnostic indicators from each other.*

Findings and their discussion. Enzyme activities, the concentration of heavy metals and degree of anthropogenic load on soil are key diagnostic indicators characterizing the ecological condition of soils undergoing intensive anthropogenic influence. These indicators are closely interrelated: the enzymatic activity of soils (ecological and functional condition of the soil) is affected by the content of heavy metal ions, the concentration of which depends on the extent of human impact on certain soil.

The concentration of zinc ions in all soil groups is much higher than the MPC. The concentration of copper ions is slightly higher than the MPC. The concentration of lead ions in these groups of soils is low in comparison with the MPC data. The content of iron ions and mercury is very low in comparison with the MPC data.

The activity of catalase and protease in group 3, urease in group 4, is high in comparison with the average activity of the enzyme. Catalase activity in groups 1 to 3, 6, proteases in groups 1, 2, 4, 5, invertase in groups 1–6, urease in group 2 is medium. Low activity of the enzyme, was recorded in catalase in group 5, in protease in group 6, in urease in groups 1, 3, 5, 6.

Conclusion. It was revealed that the greater the concentration of heavy metals in the soil is, the less the activity of soil enzymes. It is noted that the largest concentration of metal ions was found in the soil near the railway, which is associated with the lower activity of soil enzymes, while the lowest concentration of heavy metal ions is in Frunze Park and it is combined with the highest enzymatic activity of soil.

Key words: soil, heavy metals, enzymatic activity, mobile forms, anthropogenic load.

В условиях возросшей антропогенной нагрузки на биосферу планеты почва как элемент природной системы, находящийся в динамичном равновесии со всеми другими компонентами, подвергается деградационным процессам.

Среди различных биологических критериев оценки антропогенного влияния на почвы наиболее оперативными и перспективными являются биохимические показатели, дающие сведения о динамике важнейших ферментативных процессов в почве: синтеза и разложения органического вещества, нитрификации и других процессов. Среди поллютантов, поступающих в окружающую среду в результате антропогенного загрязнения, важную роль играют тяжелые металлы [1]. Ферментативная активность почв оказывает каталитическое воздействие на процессы превращения экзогенных и собственных органических и минеральных соединений. Уровень ферментативной активности почв определяется активностью основных ферментов (инвертазы, протеазы, уреазы, каталазы), он тесно связан со степенью внешнего влияния на почву [2].

Оценка взаимосвязи содержания ионов тяжелых металлов и активности ферментов почвы в сочетании с влиянием антропогенных факторов является наиболее целостной для установления состояния почвенного покрова и поиска путей к прекращению деградационных процессов, протекающих в ней.

Цель работы – оценить степень антропогенной нагрузки на почвы г. Витебска по содержанию подвижных форм металлов и ее ферментативной активности.

Материал и методы. Материалом исследования были почвы с различной антропогенной нагрузкой. Выявлялись основные диагностические показатели состояния почвы: концентрации подвижных форм химических элементов в почве (Cu^{2+} , Fe^{3+} , Hg^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+}); активность почвенных ферментов (каталазы, уреазы, протеазы, инвертазы).

Перед исследованием основных диагностических показателей почвы классифицировались по месту сбора, влиянию неблагоприятных факторов и типу почвы (табл. 1).

Таблица 1

Места сбора проб почвы и их характеристика

№	Место сбора проб почвы	Антропогенные факторы, влияющие на почву	Тип почвы
1.	Завод «Витязь»	Почва взята вблизи предприятия	Дерновоподзолистая, легкосуглинистая, слабогумусная, на средних суглинках
2.	ТЦ «Эвиком»	Почва взята в оживленном месте с большим скоплением выхлопных газов	Дерновоподзолистая, супесчаная, легкосуглинистая, на средних суглинках
3.	Парк имени Фрунзе	Почва взята вдали от дороги, в низине	Дерновоподзолистая, среднесуглинистая, слабогумусная, на песках
4.	Пр-т Фрунзе	Почва взята в центре города, вблизи автомобильной дороги	Дерновоподзолистая, супесчаная, среднесуглинистая, слабогумусная, на песках
5.	Прибрежная зона р. Западной Двины	Почва взята возле воды, в оживленном месте	Несвязный песок
6.	Вблизи железной дороги	Почва взята в месте скопления большого количества транспорта	Дерновоподзолистая, супесчаная, среднесуглинистая, кислая, на песках

Методика отбора проб почвы: пробы почв отбирались в местах с различной антропогенной нагрузкой в г. Витебске в период с сентября по октябрь. Верхний растительный слой почвы убирался, и на глубину 20 см отбиралась опытная проба, помещалась в стеклянный сосуд с притертой крышкой. Пробы почвы в каждой из зон отбирались на расстоянии 10 метров друг от друга. Анализ почвы проводился в течение 3 недель с момента сбора проб, чтобы избежать нарушения почвенного состава.

Определение содержания в почве железа (III) проводилось спектрофотометрическим методом на основании образования окрашенных комплексных соединений сульфосалициловой кислоты с солями железа (III) [3]. Концентрация меди (II) определялась спектрофотометрическим методом по окрашенному комплексу ионов металла с аммиаком [4]. Определение ионов цинка (II) проводилось титриметрическим методом на основании образования комплексов ионов металлов с аминополикарбонowymi кислотами. Определение ионов свинца (II) основано на их осаждении из растворов, содержащих цианиды щелочных металлов. Метод определения ионов ртути (II) основан на разложении ртути в почве смесью кислот с последующим восстановлением хлоридом олова [5].

Титриметрический метод определения каталазной активности почвы базируется на измерении количества разложенной перекиси с образованием окрашенных комплексов [6]. Определения активности уреазы почвы проводилось спектрофотометрическим методом, основанным на учете количества аммиака, образующегося при гидролизе карбамида [7]. Спектрофотометрическое определение активности протеазы основано на учете количества аминокислот, образующихся при протеолизе внесенных в почву белков, путем связывания их в окрашенные комплексы [8]. Методы определения активности инвертазы почв основаны на количественном учете восстанавливающих сахаров по Бертрану и изменении оптических свойств раствора сахарозы до и после воздействия фермента, при этом использовался спектрофотометрический метод исследования (метод Ф.Х. Хозиева) [9].

По завершении опыта были сопоставлены полученные результаты у групп между собой и с данными литературы по предельно допустимой концентрации каждого металла.

ПДК цинка – 23,0 мг/кг почвы, меди – 3,0 мг/кг почвы, железа – 5,0 мг/кг почвы, ртути – 2,1 мг/кг почвы, свинца – 6,0 мг/кг почвы [10].

Ферментативная активность почвы определялась для каждой группы и сравнивалась с активностью фермента между группами и данными литературы, где характеризуется средняя активность фермента, которая может фиксироваться в почвах [10].

Средняя активность каталазы – 3–10 см³ O₂ на г за 1 мин, уреазы – 10–30 мг NH₃ на 10 г за 24 ч, протеазы – 1–2 мг альбумина на 10 г за 24 ч, инвертазы – 10–50 мг C₆H₁₂O₆/г/сут.

Математическую обработку полученных результатов проводили методами параметрической и непараметрической статистики с использованием пакета статистических программ Microsoft Excel 2010, STATISTICA 6.0.

Результаты и их обсуждение. При исследовании почв с различной антропогенной нагрузкой было определено содержание основных металлов, оказывающих воздействие на показатели эколого-функционального состояния почвы (табл. 2–6).

Изучение концентрации подвижных форм цинка выявило следующие закономерности (табл. 2).

Таблица 2

Концентрация ионов цинка в почве (мг/кг почвы) (M±m)

№	Место отбора проб почвы	Zn ²⁺
1.	Р-н завода «Витязь» (n=9)	73,12 ± 3,44 ⁶
2.	Р-н ТЦ «ЭвиКом» (n=9)	68,87 ± 0,95 ⁶
3.	Парк имени Фрунзе (n=9)	60,66 ± 4,51 ⁶
4.	Возле проезжей части по пр-ту Фрунзе (n=9)	87,21 ± 3,07 ^{1-3,6}
5.	Прибрежная зона реки Западной Двины (n=9)	46,04 ± 2,40 ^{1,2,4,6}
6.	Вблизи железной дороги (n=9)	121,33 ± 5,26 ¹⁻⁶

Примечание: ¹P < 0,05 по сравнению с группой 1; ²P < 0,05 по сравнению с группой 2; ³P < 0,05 по сравнению с группой 3; ⁴P < 0,05 по сравнению с группой 4; ⁵P < 0,05 по сравнению с группой 5; ⁶P < 0,05 по сравнению с ПДК.

Наибольшая концентрация ионов цинка обнаружена в почве вблизи железной дороги, а наименьшая – в почве прибрежной зоны реки Западной Двины. Значения отличаются между собой в 2,6 раза. Значения вблизи железной дороги больше значения в р-не завода «Витязь» в 1,6 раза, в р-не ТЦ «ЭвиКом» – в 1,7 раза, в парке имени Фрунзе – в 2,0 раза, возле проезжей части по пр-ту Фрунзе – в 1,4 раза.

Сравнив полученные данные с предельно допустимой концентрацией, наблюдаем превышение во всех исследуемых нами зонах. В р-не завода «Витязь» значение концентрации ионов цинка превышает значение ПДК в 3,1 раза, в р-не ТЦ «ЭвиКом» – в 2,9 раза, в парке имени Фрунзе – в 2,6 раза, возле проезжей части по пр-ту Фрунзе – в 3,3 раза, в прибрежной зоне реки Западной Двины – в 2,0 раза, вблизи железной дороги – в 5,3 раза.

Цинк поступает в придорожное пространство в результате истирания различных деталей, эрозии оцинкованных поверхностей, износа шин, за счет использования в маслах присадок, содержащих этот металл. Так, в качестве антиокислительных присадок к моторным маслам применяют диалкил- и диарилдифосфаты цинка, которые улучшают также антикоррозионные свойства и уменьшают износ деталей. Массовая доля цинка в моторных маслах для бензиновых двигателей составляет 0,09–0,12%, в маслах для дизельных двигателей — 0,05–0,1%. После отказа от использования соединений кадмия в процессах вулканизации резины и замены их соединениями цинка истирание автомобильных шин также стало одним из источников накопления этого металла вдоль дорог. В последнее время для борьбы с коррозией широко применяется за рубежом и интенсивно внедряется у нас оцинковка кузовных деталей автомобилей, прежде всего днища, что влечет за собой дополнительное поступление цинка в придорожное пространство. Из-за этих процессов вдоль автомобильных дорог формируются геохимические аномалии цинка.

В результате исследования ионов меди в отобранных образцах почвы установлена (табл. 3) наибольшая и наименьшая концентрация ионов меди вблизи железной дороги и в р-не ТЦ «Эвиком» соответственно, значения отличаются между собой в 10,0 раза. Значение вблизи железной дороги превышает значение в р-не завода «Витязь» в 4,2 раза, в парке имени Фрунзе – в 6,8 раза, в прибрежной зоне реки Западной Двины – в 4,5 раза, возле проезжей части по пр-ту Фрунзе отличия незначительные.

Таблица 3

Концентрация ионов меди в почве (мг/кг почвы) ($M \pm m$)		
№	Место отбора проб почвы	Cu ²⁺
1.	Р-н завода «Витязь» (n=9)	1,29 ± 0,029 ⁶
2.	Р-н ТЦ «Эвиком» (n=9)	0,51 ± 0,007 ^{1, 6}
3.	Парк имени Фрунзе (n=9)	0,79 ± 0,007 ^{1, 2, 6}
4.	Возле проезжей части по пр-ту Фрунзе (n=9)	4,84 ± 0,186 ^{1-3, 6}
5.	Прибрежная зона реки Западной Двины (n=9)	1,19 ± 0,181 ^{4, 6}
6.	Вблизи железной дороги (n=9)	5,43 ± 0,086 ¹⁻⁶

Примечание: ¹P < 0,05 по сравнению с группой 1; ²P < 0,05 по сравнению с группой 2; ³P < 0,05 по сравнению с группой 3; ⁴P < 0,05 по сравнению с группой 4; ⁵P < 0,05 по сравнению с группой 5; ⁶P < 0,05 по сравнению с ПДК.

При сравнении полученных данных со значением ПДК установлено превышение возле проезжей части по пр-ту Фрунзе в 1,6 раза, вблизи железной дороги – в 1,8 раза, в остальных местах полученные значения концентрации ионов меди в почве не превышают предельно допустимую концентрацию.

Поступление меди в почву происходит вследствие выброса при высокотемпературных процессах: черной и цветной металлургии (УП «Витебсквторчермет»), сжигании минерального топлива. Воздушными потоками выбросы переносятся на большие расстояния (до 10 км), причем большая их часть выпадает на расстоянии 1–3 км от эпицентра. При изучении концентраций ионов железа были установлены следующие закономерности: табл. 4.

Наибольшая концентрация ионов железа установлена в почве вблизи железной дороги, а наименьшая – в парке имени Фрунзе, значения отличаются между собой в 8,6 раза. Значение вблизи железной дороги превышает значение в р-не завода «Витязь» в 6,2 раза, в р-не ТЦ «Эвиком» – в 6,6 раза, возле проезжей части по пр-ту Фрунзе – в 2,5 раза, в прибрежной зоне реки Западной Двины – в 1,5 раза.

При сравнении полученных данных с предельно допустимой концентрацией железа установлено превышение в почве вблизи железной дороги в 1,3 раза. В остальных местах значения в норме, не превышают ПДК.

Таблица 4

Концентрация ионов железа (мг/кг почвы) ($M \pm m$)		
№	Место отбора проб почвы	Fe ³⁺
1.	Р-н завода «Витязь» (n=9)	1,04 ± 0,036 ⁶
2.	Р-н ТЦ «Эвиком» (n=9)	0,98 ± 0,051 ⁶
3.	Парк имени Фрунзе (n=9)	0,76 ± 0,052 ^{1, 2, 6}
4.	Возле проезжей части по пр-ту Фрунзе (n=9)	2,57 ± 0,160 ^{1-3, 6}
5.	Прибрежная зона реки Западной Двины (n=9)	4,36 ± 0,103 ^{1-4, 6}
6.	Вблизи железной дороги (n=9)	6,53 ± 0,198 ¹⁻⁶

Примечание: ¹P < 0,05 по сравнению с группой 1; ²P < 0,05 по сравнению с группой 2; ³P < 0,05 по сравнению с группой 3; ⁴P < 0,05 по сравнению с группой 4; ⁵P < 0,05 по сравнению с группой 5; ⁶P < 0,05 по сравнению с ПДК.

Такое содержание железа в почве обусловлено тем, что вблизи железной дороги происходят сброс сточных вод, разлив продуктов нефтепереработки, коррозия металлов, в результате чего железо поступает в почву.

При изучении концентрации ионов ртути определены следующие закономерности: табл. 5.

Таблица 5

Концентрация ионов ртути (мг/кг почвы) ($M \pm m$)

№	Место отбора проб почвы	Hg ²⁺
1.	Р-н завода «Витязь» (n=9)	0,025 ± 0,002 ⁶
2.	Р-н ТЦ «ЭвиКом» (n=9)	0,031 ± 0,003 ^{1,6}
3.	Парк имени Фрунзе (n=9)	0,021 ± 0,001 ^{1,2,6}
4.	Возле проезжей части по пр-ту Фрунзе (n=9)	0,030 ± 0,002 ^{1,3,6}
5.	Прибрежная зона реки Западной Двины (n=9)	0,024 ± 0,001 ^{2,4,6}
6.	Вблизи железной дороги (n=9)	0,029 ± 0,002 ^{1,3,5,6}

Примечание: ¹P < 0,05 по сравнению с группой 1; ²P < 0,05 по сравнению с группой 2; ³P < 0,05 по сравнению с группой 3; ⁴P < 0,05 по сравнению с группой 4; ⁵P < 0,05 по сравнению с группой 5; ⁶P < 0,05 по сравнению с ПДК.

Наибольшая и наименьшая концентрация ионов ртути установлена в р-не ТЦ «ЭвиКом» и в парке имени Фрунзе соответственно, значения отличаются между собой в 1,4 раза. При сравнении полученных значений между собой установлено, что отличия незначительны. Все полученные значения не превышают ПДК.

Загрязнение почвы ртутью происходит с попаданием в нее пестицидов, различных бытовых отходов, например люминесцентных ламп, элементов испорченных измерительных приборов.

Изучение концентрации ионов свинца выявило следующие закономерности: табл. 6.

Наибольшая концентрация ионов свинца установлена вблизи железной дороги, а наименьшая – в р-не завода «Витязь», значения отличаются в 1,7 раза. Значение вблизи железной дороги превышает значение в р-не ТЦ «ЭвиКом» в 1,4 раза, в парке имени Фрунзе – в 1,6 раза, возле проезжей части по пр-ту Фрунзе и в прибрежной зоне реки Западной Двины существенных отличий нет.

Таблица 6

Концентрация ионов свинца (мг/кг почвы) ($M \pm m$)

№	Место отбора проб почвы	Pb ²⁺
1.	Р-н завода «Витязь» (n=9)	1,26 ± 0,07 ⁶
2.	Р-н ТЦ «ЭвиКом» (n=9)	1,51 ± 0,09 ^{1,6}
3.	Парк имени Фрунзе (n=9)	1,36 ± 0,08 ^{1,2,6}
4.	Возле проезжей части по пр-ту Фрунзе (n=9)	1,78 ± 0,11 ^{1-3,6}
5.	Прибрежная зона реки Западной Двины (n=9)	1,98 ± 0,13 ^{1-4,6}
6.	Вблизи железной дороги (n=9)	2,21 ± 0,14 ¹⁻⁶

Примечание: ¹P < 0,05 по сравнению с группой 1; ²P < 0,05 по сравнению с группой 2; ³P < 0,05 по сравнению с группой 3; ⁴P < 0,05 по сравнению с группой 4; ⁵P < 0,05 по сравнению с группой 5; ⁶P < 0,05 по сравнению с ПДК.

При сравнении полученных данных концентрации ионов свинца в почве с предельно допустимой концентрацией установлено, что все значения в норме, превышения ПДК не наблюдается.

Большое количество свинца поступает в почву с выделением выхлопных газов.

При исследовании почв с различной антропогенной нагрузкой были определены активности почвенных ферментов, оказывающих воздействие на показатели эколого-функционального состояния почвы (табл. 7–10).

Исследование каталазной активности почвы выявило следующие закономерности: табл. 7.

Таблица 7

Активность каталазы (мг/г/сут) ($M \pm m$)

№	Почва и место ее сбора	Активность каталазы
1.	Р-н завода «Витязь» (n=9)	8,3 ± 0,72 ^{6,8}
2.	Р-н ТЦ «ЭвиКом» (n=9)	4,3 ± 0,34 ^{1,6,7,8}
3.	Парк имени Фрунзе (n=9)	12,5 ± 0,94 ¹⁻⁸

4.	Возле проезжей части по пр-ту Фрунзе (n=9)	7,0 ± 0,53 ^{1-3, 6, 8}
5.	Прибрежная зона реки Западной Двины (n=9)	2,8 ± 0,22 ^{1-4, 6, 7, 8}
6.	Вблизи железной дороги (n=9)	5,4 ± 0,47 ^{1, 2, 6, 8}

Примечание: ¹P < 0,05 по сравнению с группой 1; ²P < 0,05 по сравнению с группой 2; ³P < 0,05 по сравнению с группой 3; ⁴P < 0,05 по сравнению с группой 4; ⁵P < 0,05 по сравнению с группой 5; ⁶P < 0,05 по сравнению с низкой активностью фермента; ⁷P < 0,05 по сравнению со средней активностью фермента; ⁸P < 0,05 по сравнению с высокой активностью фермента.

Наибольшая активность каталазы установлена в парке имени Фрунзе, а наименьшая – в прибрежной зоне реки Западной Двины, значения отличаются между собой в 4,4 раза. Значение в парке имени Фрунзе превышает значение в р-не завода «Витязь» в 1,5 раза, в р-не ТЦ «Эвиком» – в 2,9 раза, возле проезжей части по пр-ту Фрунзе – в 1,7 раза, вблизи железной дороги – в 2,3 раза.

В парке имени Фрунзе высокая каталазная активность почвы, во всех остальных местах – средняя активность.

Исследование активности протеазы выявило следующие закономерности: табл. 8.

Таблица 8

Активность протеазы (мг глицина/г/сут) (M±m)

№	Почва и место ее сбора	Активность протеазы
1.	Р-н завода «Витязь» (n=9)	1,22 ± 0,03 ⁶⁻⁸
2.	Р-н ТЦ «Эвиком» (n=9)	1,61 ± 0,03 ^{1, 6, 8}
3.	Парк имени Фрунзе (n=9)	4,86 ± 0,23 ^{1-5, 6, 7, 8}
4.	Возле проезжей части по пр-ту Фрунзе (n=9)	1,25 ± 0,04 ^{2, 3, 6, 7, 8}
5.	Прибрежная зона реки Западной Двины (n=9)	1,54 ± 0,04 ^{1-4, 6, 8}
6.	Вблизи железной дороги (n=9)	0,83 ± 0,02 ^{1, 2, 7, 8}

Примечание: ¹P < 0,05 по сравнению с группой 1; ²P < 0,05 по сравнению с группой 2; ³P < 0,05 по сравнению с группой 3; ⁴P < 0,05 по сравнению с группой 4; ⁵P < 0,05 по сравнению с группой 5; ⁶P < 0,05 по сравнению с низкой активностью фермента; ⁷P < 0,05 по сравнению со средней активностью фермента; ⁸P < 0,05 по сравнению с высокой активностью фермента.

Наибольшая и наименьшая протеазная активность установлена в парке имени Фрунзе и вблизи железной дороги соответственно, значения отличаются между собой в 5,8 раза. Значение в парке имени Фрунзе больше значения в р-не завода «Витязь» и возле проезжей части по пр-ту Фрунзе в 3,9 раза, в р-не ТЦ «Эвиком» и в прибрежной зоне реки Западной Двины – в 3,1 раза.

Вблизи железной дороги установлена слабая активность протеазы, в парке имени Фрунзе – очень высокая активность протеазы, во всех остальных местах наблюдается средняя активность фермента.

Исследование активности инвертазы выявило следующие закономерности: табл. 9.

Наибольшая активность инвертазы установлена в р-не завода «Витязь», а наименьшая – вблизи железной дороги и в р-не ТЦ «Эвиком», значения отличаются между собой в 2,3 раза. Значение в р-не завода «Витязь» больше значения возле проезжей части по пр-ту Фрунзе в 2,1 раза, в прибрежной зоне реки Западной Двины – в 1,7 раза, в парке имени Фрунзе незначительные отличия.

Таблица 9

Активность инвертазы (мг глюкозы/г/сут) (M±m)

№	Почва и место ее сбора	Активность инвертазы
1.	Р-н завода «Витязь» (n=9)	34,2 ± 5,0 ^{6, 8}
2.	Р-н ТЦ «Эвиком» (n=9)	14,8 ± 1,8 ^{1, 6, 8}
3.	Парк имени Фрунзе (n=9)	26,1 ± 3,4 ^{1-5, 6, 8}
4.	Возле проезжей части по пр-ту Фрунзе (n=9)	15,8 ± 1,9 ^{1-3, 6, 8}
5.	Прибрежная зона реки Западной Двины (n=9)	19,7 ± 2,8 ^{1-4, 6, 8}
6.	Вблизи железной дороги (n=9)	14,6 ± 1,3 ^{1, 6, 8}

Примечание: ¹P < 0,05 по сравнению с группой 1; ²P < 0,05 по сравнению с группой 2; ³P < 0,05 по сравнению с группой 3; ⁴P < 0,05 по сравнению с группой 4; ⁵P < 0,05 по сравнению с группой 5; ⁶P < 0,05 по сравнению с низкой активностью фермента; ⁷P < 0,05 по сравнению со средней активностью фермента; ⁸P < 0,05 по сравнению с высокой активностью фермента.

Слабая активность инвертазы установлена в р-не ТЦ «Эвиком» и вблизи железной дороги, во всех остальных местах активность инвертазы средняя.

Исследование активности уреазы выявило следующие закономерности: табл. 10.

Наибольшая активность уреазы установлена возле проезжей части по пр-ту Фрунзе, а наименьшая – в прибрежной зоне реки Западной Двины, значения отличаются между собой в 19,0 раза. Значение возле проезжей части по пр-ту Фрунзе превышает значение в р-не завода «Витязь» в 11,0 раза, в р-не ТЦ «Эвиком» – в 6,7 раза, в парке имени Фрунзе – в 9,1 раза, вблизи железной дороги – в 13,5 раза.

Таблица 10

Активность уреазы (мг NH ₃ /10г/сут) (M±m)		
№	Почва и место ее сбора	Активность уреазы
1.	Р-н завода «Витязь» (n=9)	7,29 ± 0,6 ⁶⁻⁸
2.	Р-н ТЦ «Эвиком» (n=9)	12,01 ± 1 ^{1, 6, 7, 8}
3.	Парк имени Фрунзе (n=9)	8,86 ± 0,9 ^{1-5, 6, 7, 8}
4.	Возле проезжей части по пр-ту Фрунзе (n=9)	80,91 ± 9,2 ^{1-3, 6, 7}
5.	Прибрежная зона реки Западной Двины (n=9)	4,25 ± 0,4 ^{1-4, 7, 8}
6.	Вблизи железной дороги (n=9)	5,97 ± 0,5 ^{1, 2, 7, 8}

Примечание: ¹P < 0,05 по сравнению с группой 1; ²P < 0,05 по сравнению с группой 2; ³P < 0,05 по сравнению с группой 3; ⁴P < 0,05 по сравнению с группой 4; ⁵P < 0,05 по сравнению с группой 5; ⁶P < 0,05 по сравнению с низкой активностью фермента; ⁷P < 0,05 по сравнению со средней активностью фермента; ⁸P < 0,05 по сравнению с высокой активностью фермента.

Слабая активность уреазы установлена в р-не завода «Витязь», в парке имени Фрунзе, в прибрежной зоне реки Западной Двины и вблизи железной дороги, в р-не ТЦ «Эвиком» – средняя активность уреазы, а возле проезжей части по пр-ту Фрунзе высокая активность фермента.

В результате исследований было определено содержание подвижных форм металлов, исследована активность ферментов. Согласно полученным данным можно сделать следующие выводы:

1. Определение подвижных форм металлов в почве (Cu²⁺, Fe³⁺, Hg²⁺, Pb²⁺, Zn²⁺) показало, что содержание того или иного иона металла зависит от места сбора и типа почвы. Исходя из результатов исследований концентрации ионов металлов и в сравнении их с ПДК металлов в почве, концентрация ионов цинка во всех группах почв значительно превышает ПДК. Концентрация ионов меди незначительно превышает ПДК. Концентрация ионов свинца в данных группах почв низкая по сравнению с данными ПДК. Содержание ионов железа и ртути очень низкое по сравнению с данными ПДК.

2. Исходя из результатов исследований активности ферментов и в сравнении их со шкалой сравнительной оценки ферментативной активности почвы, можно сделать вывод о том, что активность каталазы и протеазы в группе 3, уреазы в группе 4 высокая по сравнению со средней активностью фермента. Активность каталазы в группах 1–3, 6, протеазы в группах 1, 2, 4, 5, инвертазы в группах 1–6, уреазы в группе 2 средняя. Низкая активность фермента зафиксирована у каталазы в группе 5, у протеазы в группе 6, у уреазы в группах 1, 3, 5, 6.

Концентрация ионов тяжелых металлов и ферментативная активность почв являются значимыми характеристиками состояния почвенного покрова и служат основными диагностическими показателями, характеризующими степень влияния человека и его деятельности на процессы, протекающие в почве и позволяющие оценивать степень ее деградации и возможности использования.

Заключение. Выявлено, что чем больше концентрация ионов тяжелых металлов в почве, тем слабее активность почвенных ферментов. Отмечено: наибольшая концентрация ионов металлов обнаружена в почве вблизи железной дороги, что сопряжено со сниженной активностью почвенных ферментов, а наименьшая концентрация ионов тяжелых металлов – в парке имени Фрунзе, что сочетается с наибольшей ферментативной активностью почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев, Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев. – М., 1987. – 140 с.
2. Абрамян, С.А. Изменение ферментативной активности почвы под влиянием естественных и антропогенных факторов / С.А. Абрамян // Почвоведение. – 1992. – № 7. – С. 70–82.
3. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 471 с.
4. Воробьева, Л.А. Химический анализ почв / Л.А. Воробьева. – М.: МГУ, 1998. – 273 с.
5. Жерносок, А.К. Физико-химические методы анализа / А.К. Жерносок, И.С. Борисевич. – Витебск: УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2012. – 12 с.
6. Звягинцев, Д.Г. Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.

7. Котова, Д.Л. Методы контроля качества почвы: учеб. пособие для вузов / Д.Л. Котова, Д.Л. Девятова [и др.]; под общ. ред. Д.Л. Котовой. – Воронеж: Изд-во ИПЦ ВГУ, 2007. – 47 с.
8. Золотов, Ю.А. Основы аналитической химии: учеб. пособие для вузов: в 2 т. / Ю.А. Золотов [и др.]; под ред. Ю.А. Золотова. – М.: Высш. шк., 2004. – 34 с.
9. Свирскене, А. Микробиологические и биохимические показатели при оценке антропогенного воздействия на почвы / А. Свирскене // Почвоведение. – 2003. – № 2. – С. 202–210.
10. Ключенович, В.И. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве / В.И. Ключенович. – Минск, 2004. – 13 с.

REFERENCES

1. Alekseev Yu.V. Tiazheliye metalli v pochvakh i rasteniyakh [Heavy Metals in Soils and Plants], M., 1987, 140 p.
2. Abramyan S.A. Pochvovedeniye [Soil Science], 1992, 7, pp. 70-82.
3. Arinushkina E.V. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv [Guidance on Chemical Analysis of Soil], M., MGU, 1970, 471 p.
4. Vorobyova L.A. Khimicheskii analiz pochv [Chemical Analysis of Soil], M., MGU, 1998, 273 p.
5. Zhernosiek A.K., Borisevich I.S. Fiziko-khimicheskiye metodi analiza [Physical and Chemical Methods of Analysis], Vitebsk, UO VGU imeni P.M. Masherova, 2012, 12 p.
6. Zvyagintsev D.G., Babyeva I.P., Zenova G.M. Biologiya pochv [Soil Biology], M., Izd-vo MGU, 2005, 445 p.
7. Kotova D.L., Devyatova D.L. Metodi kontrolya kachestva pochvi: ucheb. posobiye dlya vuzov [Methods of Quality Control of Soil: University Student Manual], Voronezh, Izd-vo IPTs VGU, 2007, 47 p.
8. Zolotov Yu.A. Osnovi analiticheskoi khimii: ucheb. posobiye dlya vuzov [Fundamentals of Analytical Chemistry: University Textbook], 2 vol., M., Vyssh. Shk., 2004, 34.
9. Svirskene A. Pochvovedeniye [Soil Science], 2003, 2, pp. 202–210.
10. Klyuchenovich V.I. Perechen predelno-dopustimikh kontsentratsii (PDK) i oriyentirovchno-dopustimikh kontsentratsii (ODK) khimicheskikh vechestv v pochve [List of Maximum Permissible Concentration (MPC) and Approximately Permissible Concentration (APC) of Chemicals in the Soil], Minsk, 2004, 13 p.

Поступила в редакцию 13.03.2017

Адрес для корреспонденции: e-mail: olgabal.tih@gmail.com – Балаева-Тихомирова О.М.