

- mennyh drevesnyh rastenij // Vestnik KrasGAU. – 2013. – № 6. – S. 186–191.
10. Pahar'kova N.V., Kuz'mina N.A., Kuz'min S.R. [i dr.]. Morfofiziologicheskie osobennosti hvoi u raznyh klimatipov sosny obyknovennoj v geograficheskikh kul'turah // Sibirskij jekologicheskij zhurnal. – 2014. – T. 21. – № 1. – S. 107–113.
 11. Duan B., Yang Y., Lu Y. [et al.]. Interactions between water deficit, ABA, and provenances in *Picea asperata* // Journal of Experimental Botany. – 2007. – № 58. – P. 302–305.
 12. Feurtado J.A., Ambrose S.J., Cutler A.J. [et al.]. Dormancy termination of western white pine (*Pinus monticola* DOUGL. Ex D. Don) seeds is associated with changes in abscisic acid metabolism // Planta. – 2004. – № 218. – P. 630–639.
 13. Hänninen H. Climate warming and the risk of frost damage to boreal forest trees: identification of critical ecophysiological traits // Tree Physiology. – 2006. – № 26. – P. 889–898.
 14. Harrington C.A., Gould P.J., StClair J.B. Modeling the effects of winter environment on dormancy release of Douglas-fir // Forest Ecology and Management. – 2010. – № 259. – P. 798–808.
 15. Lysenko V.S., Varduni T.V., Sojer V.G. [i dr.]. Fluorescenciya hlorofilla rastenij kak pokazatel' jekologicheskogo stressa: teoreticheskie osnovy primeneniya metoda // Fundamental'nye issledovanija. – 2013. – № 4-1. – S. 112–120.
 16. Junior-PAM. Chlorophyll Fluorometer: Operator's Guide / Heinz Walz Germany. – 2007. – URL: http://www.walz.com/downloads/manuals/junior-pam/jpm_071206.pdf.

УДК 579.26:631.45

Л.Г. Рувинова, А.Н. Сверчкова,
С.М. Хамитова, Ю.М. Авдеев

БИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОЙ И ВОДНОЙ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗАЦИИ

L.G. Ruvanova, A.N. Sverchkova,
S.M. Khamitova, Yu.M. Avdeev

BIOLOGICAL MONITORING OF THE SOIL AND WATER ENVIRONMENT POLLUTION IN THE CONDITIONS OF URBANIZATION

Рувинова Л.Г. – д-р биол. наук, проф. каф. геоэкологии и инженерной экологии Вологодского государственного университета, г. Вологда.

E-mail: fe@mh.vstu.edu.ru

Сверчкова А.Н. – ассист. каф. геоэкологии и инженерной экологии Вологодского государственного университета, г. Вологда. E-mail: fe@mh.vstu.edu.ru

Хамитова С.М. – канд. с.-х. наук, доц. каф. геоэкологии и инженерной экологии Вологодского государственного университета, г. Вологда.

E-mail: fe@mh.vstu.edu.ru

Авдеев Ю.М. – канд. с.-х. наук, доц. каф. геоэкологии и инженерной экологии Вологодского государственного университета, г. Вологда.

E-mail: avdeevyur@yandex.ru

Ruvanova L.G. – Dr. Biol. Sci., Prof., Chair of Geoecology and Engineering Ecology, Vologda State University, Vologda. E-mail: fe@mh.vstu.edu.ru

Sverchkova A.N. – Asst, Chair of Geoecology and Engineering Ecology, Vologda State University, Vologda. E-mail: fe@mh.vstu.edu.ru

Khamitova S.M. – Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Geoecology and Engineering Ecology, Vologda State University, Vologda. E-mail: fe@mh.vstu.edu.ru

Avdeev Yu.M. – Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Geoecology and Engineering Ecology, Vologda State University, Vologda. E-mail: avdeevyur@yandex.ru

Оценка качественного состава урбанизированных территорий, насыщенных разными

источниками загрязнения атмосферной среды, наряду с теоретическим имеет важ-

нейшее практическое значение. Цель работы: комплексная биологическая оценка загрязненности различных территорий г. Вологда. Для оценки экологического состояния использовался комплексный методический подход, включающий биотестирование территорий города Вологды, определение активности ферментов в почве и определение химического состава биопроб. Комплексная биологическая оценка загрязненности городской среды свидетельствует о допустимой токсичности территорий г. Вологды с разной степенью выраженности. Почвы города высоко обогащены уреазой, ферментом, гидролизующим мочевины. Высокая уреазная активность сочетается с высокой выживаемостью инфузорий у пешеходного моста. Наибольшее содержание в воздухе диоксида азота установлено у драмтеатра, где наблюдается высокий поток автотранспорта. В результате анализа активности ферментов в почвах наибольшая активность уреазы обнаружена у пешеходного моста, а наименьшая – у ж.-д. вокзала. По степени обогащенности каталазой и инвертазой почвы на всех исследуемых территориях являются бедными, а по степени обогащенности уреазой – богатыми. Уровень уреазной активности почв определяет интенсивность и направленность биохимических процессов, от которых зависит плодородие почвы.

Ключевые слова: охрана окружающей среды, экология, биологическая оценка загрязненности состояния городской среды, биотестирование, экологический мониторинг.

Evaluation of qualitative composition of the urbanized territories, rich in different sources of pollution of the atmospheric environment along with the theoretical has important practical significance. The objective of the study was an integrated biological assessment of contamination of different areas of Vologda. For the ecological status assessment a complex methodological approach involving the biological testing of the territories of Vologda, the determination of enzyme activity in the soil and determination of the chemical composition of the bioassay was used. A comprehensive biological evaluation of the pollution of urban environment indicated allowable toxicity of the territories of Vologda with varying degrees of severity. The city soils high-

ly were enriched with urease, an enzyme hydrolyzed urea. High urease activity was combined with high survival of ciliate at the pedestrian bridge. The greatest content in the air of nitrogen dioxide was installed at the place, where there was a high flow of vehicles. The analysis of activity of enzymes in soils the highest activity of urease was detected in the pedestrian bridge and the lowest was near the railway station. The degree of enrichment by catalase and invertase in the soils at all the study areas were poor and the degree of enrichment of urease was rich. The level of urease activity of the soil determined the intensity and direction of biochemical processes that affected the fertility of the soil.

Keywords: environmental protection, ecology, biological assessment of pollution of urban environment, biotesting, ecological monitoring.

Введение. Оценка качественного состава урбанизированных территорий, насыщенных разными источниками загрязнения атмосферной среды, наряду с теоретическим имеет важнейшее практическое значение [1–7].

Городская среда жизни представляет собой сочетание искусственно созданных элементов и условий жизни (дороги, тротуары, здания, инженерные сооружения), культурной среды и элементов естественной природы, воздействующих на человека в совокупности с социально-экономической средой [8].

В результате хозяйственной деятельности городского населения происходит изменение состояния городской среды. Город изменяет почти все компоненты природной среды: атмосферу, почву, рельеф, подземные воды [9, 10]. В качестве основного фактора при оценке среды жизни выделяют состояние окружающей среды, поэтому перспективным и реальным методом оценки загрязненности городской среды представляется биологический метод оценки состояния территорий [7].

Переход к более надежному экологическому контролю качества окружающей среды возможен только при условии расширения показателей загрязнения и обязательного использования методов биотестирования. Именно поэтому для оценки экологического состояния использовался комплексный методический подход, включающий биотестирование территорий города Вологды, определение активности фер-

ментов в почве и химического состава биопроб [11].

Цель работы. Комплексная биологическая оценка загрязненности различных территорий г. Вологды.

Задачи: определение токсичности методом биотестирования биопроб, активности ферментов в почвах, химического состава биопроб указанных территорий г. Вологды.

Объекты и методы исследований. Для проведения исследований применялись следующие апробированные методики: определения токсичности биопроб методом биотестирования [12, 13]; активности ферментов в биопробах [14]; химического состава биопроб [15, 16]. Статистическая обработка проводилась в программе Excel.

Объектами исследований были выбраны районы города Вологды с разными геоэкологи-

ческими характеристиками (территория ЗАО «Вологодский подшипниковый завод (ВПЗ)», территория железнодорожного вокзала, территория драмтеатра, территория рядом с пешеходным мостом через р. Вологда), в которых в процессе исследований выполнено изучение биопроб.

Результаты и их обсуждение. В процессе проведения исследований было выполнено изучение токсичности талых вод, отобранных на территории г. Вологды. По результатам биотестирования талых вод различных территорий г. Вологды можно судить о неблагоприятной экологической ситуации в городе. Выживаемость инфузорий в биопробах является показателем общей токсичности окружающей среды. Результаты биотестирования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Коэффициенты выживаемости инфузорий

Статистический показатель	Территория ВПЗ	Территория ж.-д. вокзала	Территория драмтеатра	Территория пешеходного моста	Контроль
Среднее значение	1,01	1,62	1,28	1,87	1,77
Квадратичное отклонение	0,06	0,95	1,05	1,81	-
Ошибка среднего значения	0,04	0,18	0,23	0,21	-
Токсичность	0,43	0,1	0,27	- 0,05	-
Степень токсичности	Умеренная	Допустимая	Допустимая	Нулевая	-

Как показали результаты, наиболее высокий коэффициент выживаемости ($1,87 \pm 0,21$) наблюдается у пешеходного моста. Самый низкий коэффициент выживаемости ($1,01 \pm 0,04$) наблюдается у ВПЗ, который является основным источником опасных отходов.

По величине индекса токсичности (Т) анализируемые пробы подразделяются на три группы: допустимая степень токсичности ($0,00 < T < 0,40$); умеренная степень токсичности ($0,41 < T < 0,70$); высокая степень токсичности ($T > 0,71$).

Полученные при расчетах значения индекса токсичности Т свидетельствуют об умеренной степени токсичности у ВПЗ (0,43), о допустимой

степени токсичности на территории ж.-д. вокзала и драмтеатра (0,08 и 0,27 соответственно) и об отсутствии токсичности у пешеходного моста через реку Вологда (-0,05).

Ферментативная активность почв определяет интенсивность и направленность биохимических процессов, от которых зависит плодородие почвы. Ферментативная активность является важным показателем биологической активности почв и широко используется для оценки антропогенного воздействия. Шкала оценки степени обогащенности почв ферментами представлена в таблице 2. Ферментативная активность почв с различных территорий города Вологды представлена в таблице 3.

Таблица 2

Степень обогащенности почв ферментами [14]

Фермент	Очень бедная	Бедная	Средняя	Богатая	Очень богатая
Каталаза	< 1	1-3	3 - 10	10 -30	>30
Инвертаза	<5	5-15	15 - 50	50 - 150	>150
Уреаза	<3	3 - 10	10 - 30	30 - 100	>100

Таблица 3

Активность ферментов в почве (в единицах активности)

Статистический показатель	ЗАО «ВПЗ»			Ж.-д. вокзал		
	Каталаза	Инвертаза	Уреаза	Каталаза	Инвертаза	Уреаза
Среднее значение	2,76	9,42	62,0	2,39	9,3	42,0
Квадратичное отклонение	3,04	154,2	2592	0,78	142,2	5030
Ошибка среднего значения	0,27	1,92	7,86	0,14	1,84	10,94
	Драмтеатр			Пешеходный мост		
Среднее значение	2,11	9,16	73,14	1,53	9,32	80,43
Квадратичное отклонение	0,97	144,6	3665	1,41	149,5	4322
Ошибка среднего значения	0,15	1,86	9,34	0,18	1,89	10,14

При изучении ферментативной активности почв самая высокая каталазная активность почв обнаружена у ВПЗ – $2,76 \pm 0,27$ единиц, самая низкая – у пешеходного моста – $1,53 \pm 0,18$ единиц. По степени обогащенности каталазой почвы на всех исследуемых территориях являются бедными. Активность инвертазы на всех территориях примерно одинаковая, по степени обогащенности инвертазой почвы на всех исследуемых территориях являются бедными. Наибольшая активность уреазы обнаружена у пешеходного моста – $80,43 \pm 10,14$ единиц, наименьшая активность – у ж.-д. вокзала – $42 \pm 10,94$ единиц. По степени обогащенности уреазой почвы на всех исследуемых территориях являются богатыми. Уровень уреазной активности почв определяет интенсивность и направленность биохимических процессов, от которых зависит плодородие почвы.

При сопоставлении коэффициентов выживаемости инфузорий с обогащенностью почв

ферментами было выявлено, что высокая уреазная активность сочетается с высокой выживаемостью инфузорий.

Химический состав снежного покрова формируется за счет поступления различных химических элементов, а также за счет поглощения газов, паров и аэрозолей. Наиболее высоким техногенным нагрузкам подвергаются площади, непосредственно примыкающие к источникам выбросов. Снежный покров участвует в газообмене с прилегающим воздухом, поэтому является индикатором загрязнения не только атмосферных осадков, но и атмосферного воздуха. Фиксируя загрязняющие вещества в своей толще, снег становится интегральным накопителем химических веществ, содержащихся в атмосфере за весь период года.

В процессе исследования был определен элементный состав талой воды с различных территорий г. Вологды (табл. 4).

Таблица 4

Химический состав исследуемых проб

Территория	Перманганатная окисляемость	ХПК*	Fe ³⁺	Mn ²⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
ЗАО «ВПЗ»	-	43,2	-	0,268	0,18	-	-
Ж.-д. вокзал	0,04	453,6	0,456	2,012	0,155	0,55	0,22
Драмтеатр	12,385	562,6	1,064	0,408	0,235	0,324	0,288
Пешеходный мост	-	334,3	1,19	0,049	0,18	0,65	1,023

*ХПК – показатель, характеризующий суммарное содержание в воде органических веществ по количеству израсходованного на окисление химически связанного кислорода, называется химическим потреблением кислорода (в мг O₂ на 1 мг вещества). Являясь интегральным (суммарным) показателем, ХПК в настоящее время считается одним из наиболее информативных показателей антропогенного загрязнения вод.

Поскольку химический состав снежного покрова формируется за счет поступления различных химических элементов, а также за счет газообмена с прилегающим воздухом, то количество накопленного в воздухе диоксида азота определяется в виде нитрит-ионов (NO₂) по результатам химического анализа проб.

Интерес к изучению диоксида азота вызван тем, что он является токсичным веществом и уровень содержания его является одним из критериев качества атмосферного воздуха. Диоксид азота является предшественником других веществ в атмосфере, обладающих токсическими свойствами, таких как озон, аэрозольные частицы.

Наибольшее содержание диоксида азота отмечено в приземном слое воздуха у драмтеатра, где наблюдается высокий поток автотранспорта. Автомобильный транспорт является основным источником загрязнения воздуха оксидами азота. Выхлопные газы – основная причина превышения допустимых концентраций токсичных веществ и причина отравлений. Наименьшее содержание диоксида азота присутствует в воздухе у ж.-д. вокзала. В приземном слое воздуха у ВПЗ и пешеходного моста выявлено примерно одинаковое содержание диоксида азота.

Выводы. Таким образом, полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

1. Самый высокий коэффициент выживаемости инфузорий обнаружен у пешеходного моста, а самый низкий – у ВПЗ, который является основным источником опасных отходов.

2. На территории ВПЗ установлена умеренная степень токсичности, на территории драмтеатра и ж.-д. вокзала – допустимая степень токсичности и у пешеходного моста – нулевая токсичность.

3. В результате качественного анализа биопроб по нитрит-ионам можно говорить о повышенном содержании диоксида азота в приземной атмосфере у драмтеатра, где наблюдается высокий поток автотранспорта. Интерес к диоксиду азота вызван тем, что он обладает общетоксическим действием и уровень содержания диоксида азота является одним из критериев качества атмосферного воздуха.

4. В результате анализа активности ферментов в почвах наибольшая активность уреазы обнаружена у пешеходного моста, а наименьшая – у ж.-д. вокзала.

5. По степени обогащенности каталазой и инвертазой почвы на всех исследуемых территориях являются бедными, а по степени обогащенности уреазой – богатыми. Уровень уреазной активности почв определяет интенсивность и направленность биохимических процессов, от которых зависит плодородие почвы.

6. При сопоставлении коэффициентов выживаемости с обогащенностью почв ферментами выявлено, что высокая уреазная активность почв сочетается с высокой выживаемостью инфузорий.

Комплексная биологическая оценка загрязненности городской среды свидетельствует о допустимой токсичности территорий г. Вологды с разной степенью выраженности. Почвы города высоко обогащены уреазой, ферментом, гидролизующим мочевины. Высокая уреазная актив-

ность сочетается с высокой выживаемостью инфузорий у пешеходного моста. Наибольшее содержание в воздухе диоксида азота установлено у драмтеатра, где наблюдается высокий поток автотранспорта.

Вологда – достаточно благополучный в экологическом отношении город, где нет крупных, экологически опасных производств металлургии или химической промышленности и значительно количество зеленых насаждений.

Данные, полученные в ходе исследований, могут быть использованы в процессе экологического мониторинга урбанизированных территорий.

Литература

1. *Burton M.A.S.* Biological monitoring of environmental contaminants (plants) // *MARC Report*. – 1986. – № 32.
2. *Kovacs M.* Biological indicators in environmental protection. – New York: Ellis Horwood, 1992.
3. *Badiane N.N.Y., Chotte J.L., Pate E.* Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semiarid tropical regions // *Applied Soil Ecology*. – 2001. – Vol. 18. – № 3. – P. 229–238.
4. *Гаранович И.М., Хамитова С.М., Авдеев Ю.М.* [и др.]. Разработка биологических принципов формирования устойчивых биоценологических связей сообществ почвенных микроорганизмов прикорневой зоны и зелёных городских насаждений Вологодской области // *Современные научные исследования и инновации*. – 2015. – № 10 (54). – С. 45–49.
5. *Хамитова С.М., Авдеев Ю.М., Евтушенко Ю.С.* [и др.]. Изучение биологического разнообразия растительной флоры Вытегорского района Вологодской области // *Современные научные исследования и инновации*. – 2015. – № 7-1 (51). – С. 40–43.
6. *Хамитова С.М., Авдеев Ю.М.* Дендропарк имени Николая Ключева – новое место городского пространства // *Вестник КрасГАУ*. – 2015. – № 9. – С. 51–55.
7. *Костин А.Е., Авдеев Ю.М.* Геоботанические исследования биоразнообразия в урбанизированной среде // *Вестник КрасГАУ*. – 2015. – № 3. – С. 19–23.
8. *Белый А.В.* Мониторинг и охрана городской среды: учеб. пособие. – Вологда: Изд-во ВоГТУ, 2010. – 198 с.
9. *Рудаков В.О., Хамитова С.М., Авдеев Ю.М.* [и др.]. Микробиологические исследования почв дендропарка имени Николая Ключева // *Современные научные исследования и инновации*. – 2015. – № 9-1 (53). – С. 110–114.
10. *Соколов М.С., Глинушкин А.П., Торопова Е.Ю.* Средообразующие функции здоровой почвы – фитосанитарные и социальные аспекты // *Агрехимия*. – 2015. – № 8. – С. 81–94.
11. *Голубев Г.Н.* Основы геоэкологии: учеб. – М.: Кнорус, 2011. – 137 с.
12. *Звягинцев Д.Г.* Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // *Почвоведение*. – 1978. – № 6. – С. 48–54.
13. *Виноходов Д.О., Пожаров А.В.* Методологические особенности токсикологических тестов с инфузориями // *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*. Сер. Биотехнические системы в медицине и экологии. – 2006. – Вып. 3. – С. 60–67.
14. *Тихановская Г.А., Рувинова Л.Г.* Биологический контроль окружающей среды: учеб. пособие. – Вологда: Изд-во ВоГТУ, 2012. – 64 с.
15. *Химия воды и микробиология: метод. указания к лаборатор. работам. Ч. 1.* – Вологда: Изд-во ВоГТУ, 2003. – 35 с.
16. *Химия воды и микробиология: метод. указания к лаборатор. работам. Ч. 2.* – Вологда: Изд-во ВоГТУ, 2003. – 30 с.

Literatura

1. *Burton M.A.S.* Biological monitoring of environmental contaminants (plants) // *MARC Report*. – 1986. – № 32.
2. *Kovacs M.* Biological indicators in environmental protection. – New York: Ellis Horwood, 1992.
3. *Badiane N.N.Y., Chotte J.L., Pate E.* Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in

- natural and improved fallows in semiarid tropical regions // *Applied Soil Ecology*. – 2001. – Vol. 18. – № 3. – P. 229–238.
4. *Garanovich I.M., Hamitova S.M., Avdeev Ju.M.* [i dr.]. Razrabotka biologicheskikh principov formirovanija ustojchivyh biocenoticheskikh svjazej soobshhestv pochvennyh mikroorganizmov prikornevoj zony i zeljonyh gorodskih nasazhdenij Vologodskoj oblasti // *Sovremennye nauchnye issledovanija i innovacii*. – 2015. – № 10 (54). – S. 45–49.
 5. *Hamitova S.M., Avdeev Ju.M., Evtushenko Ju.S.* [i dr.]. Izuchenie biologicheskogo raznoobrazija rastitel'noj flory Vytegorskogo rajona Vologodskoj oblasti // *Sovremennye nauchnye issledovanija i innovacii*. – 2015. – № 7-1 (51). – S. 40–43.
 6. *Hamitova S.M., Avdeev Ju.M.* Dendropark imeni Nikolaja Kljueva – novoe mesto gorodskogo prostranstva // *Vestnik KrasGAU*. – 2015. – № 9. – S. 51–55.
 7. *Kostin A.E., Avdeev Ju.M.* Geobotanicheskie issledovanija bioraznoobrazija v urbanizirovannoj srede // *Vestnik KrasGAU*. – 2015. – № 3. – S. 19–23.
 8. *Belyj A.V.* Monitoring i ohrana gorodskoj srede: ucheb. posobie. – Vologda: Izd-vo VoGTU, 2010. – 198 s.
 9. *Rudakov V.O., Hamitova S.M., Avdeev Ju.M.* [i dr.]. Mikrobiologicheskie issledovanija pochv dendroparka imeni Nikolaja Kljueva // *Sovremennye nauchnye issledovanija i innovacii*. – 2015. – № 9-1 (53). – S. 110–114.
 10. *Sokolov M.S., Glinushkin A.P., Toropova E.Ju.* Sredobrazujushhie funkcii zdorovoj pochvy – fitosanitarnye i social'nye aspekty // *Agrohimija*. – 2015. – № 8. – S. 81–94.
 11. *Golubev G.N.* Osnovy geojekologii: ucheb. – M.: Knorus, 2011. – 137 s.
 12. *Zvjagincev D.G.* Biologicheskaja aktivnost' pochv i shkaly dlja ocenki nekotoryh ee pokazatelej // *Pochvovedenie*. – 1978. – № 6. – S. 48–54.
 13. *Vinohodov D.O., Pozharov A.V.* Metodologicheskie osobennosti toksikologicheskikh testov s infuzorijami // *Izvestija SPbGJe-TU «LJeTI»*. Ser. Biotehnicheskie sistemy v medicine i jekologii. – 2006. – Vyp. 3. – S. 60–67.
 14. *Tihanovskaja G.A., Ruvnova L.G.* Biologicheskij kontrol' okruzhajushhej srede: ucheb. posobie. – Vologda: Izd-vo VoGTU, 2012. – 64 s.
 15. *Himija vody i mikrobiologija: metod. ukazanija k laborator. rabotam. Ch. 1.* – Vologda: Izd-vo VoGTU, 2003. – 35 s.
 16. *Himija vody i mikrobiologija: metod. ukazanija k laborator. rabotam. Ch. 2.* – Vologda: Izd-vo VoGTU, 2003. – 30 s.

