

УДК 504.06 (470.3)

**КОМПЛЕКСНЫЙ БИОМОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КАСПИЙСКО-БАЛТИЙСКОГО ВОДОРАЗДЕЛА****Нотов А.А., Мейсунова А.Ф., Дементьева С.М.***ФГБОУ ВПО «Тверской государственный университет», Тверь, e-mail: anotov@mail.ru*

Каспийско-Балтийский водораздел является одним из крупнейших гидроузлов Восточной Европы. На базе биологического факультета Тверского государственного университета проведено комплексное изучение флоры центральной части водораздела, расположенной в пределах Тверской области. В настоящее время реализуется программа комплексного биомониторинга природных экосистем. Традиционные флористические и геоботанические подходы дополнены физико-химическими методами исследования. Для оценки состояния атмосферы широко применяется Фурье-ИК спектральный анализ лишайников. Он позволяет не только оценивать состояние атмосферы, выявлять спектр экотоксикантов, но и выяснять характер воздействия загрязнителей на живые объекты. Организован мониторинг инвазивной фракции флоры. Создана Черная книга Тверской области. Разработаны методы оценки уровня воздействия инвазивной фракции флоры на региональные экосистемы. Проводится специальный анализ индикаторных видов старовозрастных коренных лесных фитоценозов на особо охраняемых природных территориях. Целесообразно более широкое применение отмеченных подходов при разработке и реализации программ мониторинга в других регионах.

Ключевые слова: мониторинг, биомониторинг, сохранение биоразнообразия, Каспийско-Балтийский водораздел, Фурье-ИК спектральный анализ лишайников, индикаторные виды

**COMPREHENSIVE BIOMONITORING OF NATURAL ECOSYSTEMS
OF THE CENTRAL PART OF THE CASPIAN-BALTIC WATERSHED****Notov A.A., Meysurova A.F., Dementyeva S.M.***Tver State University, Tver, e-mail: anotov@mail.ru*

Caspian-Baltic watershed is one of the largest hydrosystem of the Eastern Europe. On the basis of the biological faculty of Tver State University conducted a comprehensive analysis of the flora of the Central part of the watershed, located within the Tver region. The program complex biomonitoring of natural ecosystems organized. Traditional floristic and geobotanical approaches are complemented by physical and chemical methods of research. To assess the state of the atmosphere is widely used Fourier-IR spectral analysis of lichens. It allows not only to assess the state of the atmosphere, identify the range of ecotoxicants, but also to ascertain the nature of the impact of pollution on living objects. Organized monitoring of invasive fraction of flora. Black book of the Tver region was created. Developed methods for assessing impact of the invasive fraction of flora on the regional ecosystems. Carried out a special analysis of indicator species of indigenous old-growth forest ecosystems in protected natural areas. It is expedient to wider application of the above approaches in development and implementation of monitoring programs in other regions.

Keywords: monitoring, biomonitoring, biodiversity conservation, Caspian-Baltic watershed, FTIR spectroscopy analysis of lichens, indicator species

Проблема сохранения биоразнообразия и характерной организации экосистем приобретает особое значение по отношению к уникальным природным комплексам, играющим ключевую роль в формировании физико-географической структуры регионов. Для решения этой проблемы необходим специальный анализ компонентов биоразнообразия [1, 10] и организация комплексного биомониторинга, позволяющего оценивать состояние живых систем разного уровня. В этой связи актуальна разработка и реализация эффективных моделей мониторинга, позволяющих выявлять динамику изменения отдельных компонентов и природного комплекса в целом.

Удобной модельной территорией для разработки основ комплексного биомониторинга является центральная часть Каспийско-Балтийского водораздела. Водораздел является одним из крупнейших гидроузлов Восточной Европы. К его центральной части приурочены ландшафты, уникальные

в геоморфологическом и ботанико-географическом отношении [4]. Охрана экосистем центральной части Каспийско-Балтийского водораздела имеет федеральное значение и сопряжена с разработкой общей программы сохранения биоразнообразия и уникальных природных комплексов Восточной Европы. В этой связи результаты деятельности по созданию и реализации программы комплексного биомониторинга экосистем данной территории имеют большое методическое значение.

Материалы и методы исследования

Центральная часть Каспийско-Балтийского водораздела расположена в пределах Тверской области. В 90-е гг. XX в. сотрудниками биологического факультета Тверского университета начато комплексное исследование биоты ее территории, которое позволило оценить уровень видового богатства и уникальности разных компонентов флоры и природных экосистем этой территории [5–7]. Полученные результаты стали основой для организации биомониторинга.

В 2002 г. традиционные флористические и геоботанические исследования были дополнены

деятельностью по оценке состояния атмосферы промышленных районов, расположенных в окрестностях водораздела. Использован новый подход с применением Фурье-ИК спектрального анализа индикаторных видов лишайников, который позволяет получить интегральную характеристику уровня загрязнения атмосферы поллютантами [9, 11]. В 2010 г. обобщены данные об инвазионных видах Тверского региона, создана Черная книга Тверской области [2]. Начато специальное изучение индикаторного компонента старовозрастных коренных лесных сообществ по методике, разработанной в Северо-Западной России [3]. Проведен анализ индикаторного компонента в ЦЛГПБЗ, национальном парке «Завидово» и в некоторых районах Тверской области [8]. В настоящее время реализуется программа комплексного биомониторинга центральной части Каспийско-Балтийского водораздела с применением разных подходов и методов. В данной статье охарактеризованы основные направления исследований в рамках этой программы и используемые подходы.

Результаты исследования и их обсуждение

Осуществляемая программа комплексного биомониторинга предусматривает выяснение факторов, представляющих угрозу региональному разнообразию, оценку характера их воздействия на биологические системы разного уровня и своевременное выявление возможных тенденций трансформации экосистем. Актуальность таких исследований возрастает в связи с достаточно сложной хозяйственно-экономической инфраструктурой региона. В качестве самостоятельного направления исследований следует рассматривать также регулярную инвентаризацию биоразнообразия, оценку состояния популяций редких и уязвимых видов, позиций индикаторного компонента.

Имеющаяся в настоящее время в Тверском государственном университете материально-техническая база позволяет дополнять традиционные подходы оценки состояния компонентов природной среды современными физико-химическими методами исследования. Разработан и широко применяется в мониторинговых исследованиях Фурье-ИК спектральный анализ слоевищ лишайников [9, 11]. Он позволяет не только оценивать состояние атмосферы, выявлять спектр экотоксикантов, но и выяснять характер воздействия поллютантов на живые объекты [11]. Полученные результаты позволили оценить характер загрязнения атмосферы в разных районах территории основными поллютантами (аммиак, аэрозоли серной и азотной кислот) (рис. 1). Фурье-ИК спектральный анализ слоевищ лишайников оказался эффективным методом оценки влияния лесных пожаров на разные компоненты фитоценозов

охраняемых природных территорий. При пожарах увеличиваются концентрации оксида углерода, диоксида азота и взвешенных частиц, которые представляют собой первичные экотоксиканты. При высокой температуре воздуха во время лесных пожаров образуются вторичные поллютанты, например, формальдегид. Площадь территории, испытавшей воздействие дыма, зависит от масштабов пожара, особенностей его локализации, направления и силы ветра. Содержащиеся в дыме химические вещества оказывают определенное воздействие на разные компоненты лесного фитоценоза. С помощью спектрального анализа слоевищ *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. в 2011 г. был выявлен характер распространения области задымления, которая образовалась в результате пожара, возникшего на территории ЦЛГПБЗ в верховьях реки Тюзмы в 1999 г. При организации мониторинговых исследований в лесных массивах большое значение имеет также оценка уровня кислотного загрязнения атмосферы. Очень чутко на наличие поллютантов этой группы реагируют виды эпифитного базифильного комплекса мохообразных. Многие представители этого комплекса занесены в региональные Красные книги и быстро исчезают под воздействием кислотных дождей. Экотоксиканты, способствующие распространению данного типа загрязнения атмосферы, выявляются нами с помощью газоанализатора Miran, который позволяет обнаруживать в воздухе более 20 компонентов органических и неорганических поллютантов. Для идентификации тяжелых металлов в почве, воде, растительных объектах и лишайниках нами используется атомно-адсорбционный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой. Такой анализ актуален в связи с расположением в пределах области Калининской атомной электростанции, в окрестностях которой реализуется специальная программа мониторинга наземных и водных экосистем.

Реальную угрозу природному биоразнообразию представляют биологические инвазии. Важной составляющей программы биомониторинга в пределах центральной части Каспийско-Балтийского водораздела стал анализ инвазионных видов растений. При создании Черной книги Тверской области нами разработаны методы оценки уровня воздействия адвентивной и инвазионной фракций флоры на региональные экосистемы. Выявлена суммарная активность инвазионной фракции в каждом районе, которая определена путем сложения полученных баллов активности для всех отмеченных в районе инвазионных видов (рис. 2).

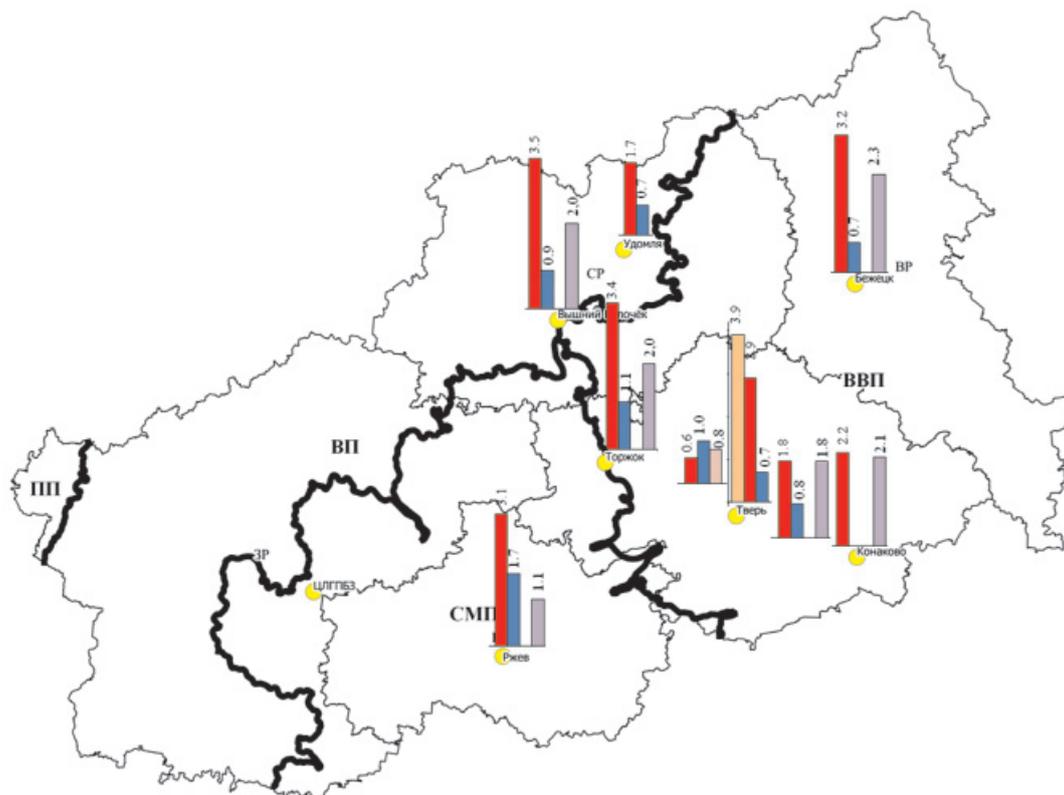


Рис. 1. Максимальные значения величин A_v/A_{2925} в ИК спектрах образцов *Nurogymnia physodes*, собранных на ключевых модельных территориях, с указанием загрязнителей, вызывающих подобные изменения в спектрах:

■ $A \sim 1429 / A_{2925}$ (SO_2); ■ $A \sim 1318 / A_{2925}$ (SO_2); ■ $A \sim 1384 / A_{2925}$ (NO_2);
 ■ $A_{3390(\pm 50)} / A_{2925}$ (NH_3); ■ $A \sim 1402 / A_{2925}$ (NH_3);
 физико-географические провинции:

ВВП – Верхневолжская; ВП – Валдайская; ПП – Прибалтийская; СМП – Смоленско-Московская;
 хозяйственно-экономические районы: ВР – Восточный; ЗР – Западный; ВТР – Волжско-Тверецкий;
 ПР – Приволжский; СР – Северный; модельные территории: 1 – Калининский;
 2 – Конаковский; 3 – Ржевский; 4 – Торжокский; 5 – Вышневолоцкий; 6 – Удомельский;
 7 – Бежецкий районы; 8 – ЦЛГПБЗ

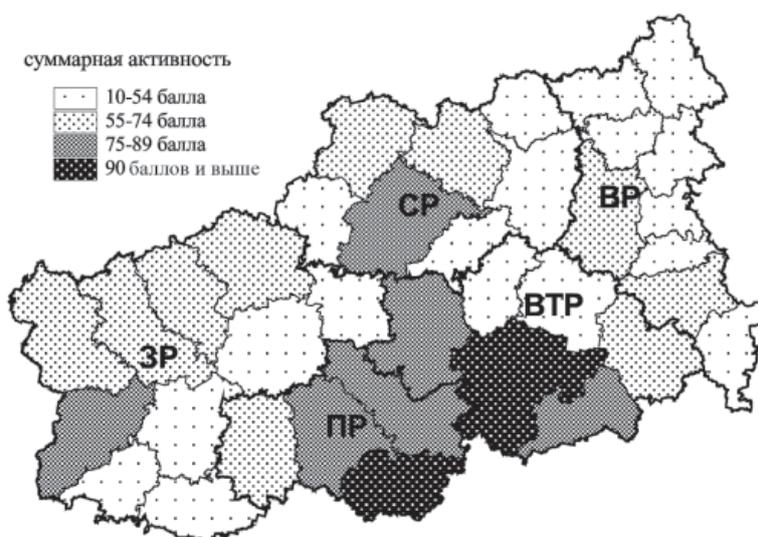


Рис. 2. Суммарная активность инвазионных фракций флор административных районов Тверской области

Анализ динамики этих характеристик особенно актуален в связи с тем, что наиболее специфические с точки зрения состава флоры природные комплексы (Ржевско-Старицкое Поволжье, Вышневолоцко-Новоторжский вал) [6] расположены в пределах территорий с экосистемами, которые трансформированы компонентами инвазионной фракции. Уровень воздействия инвазионных видов здесь постоянно увеличивается [2].

Весьма перспективным направлением биомониторинговых исследований в регионах лесной зоны является анализ индикаторных видов старовозрастных коренных сообществ [3, 8]. Он существенно дополняет традиционные флористические и геоботанические исследования на охраняемых природных территориях и позволяет оценить состояние и степень устойчивости наиболее уязвимых компонентов фитоценозов. Специальные исследования организованы нами в пределах национального парка «Завидово» и Центрально-Лесном

государственном природном биосферном заповеднике (ЦЛГПБЗ), которые являются наиболее значимыми охраняемыми природными территориями в пределах центральной части Каспийско-Балтийского водораздела. В 2007–2012 гг. нами проведено детальное изучение разных компонентов биоразнообразия лесных и болотных фитоценозов этих территорий. Уточнен видовой состав индикаторных видов сосудистых растений, мохообразных и лишайников [5, 7, 8], создана необходимая база для организации многоуровневого биомониторинга. Широко использованы возможности ГИС-технологий и созданных с их применением баз данных [8]. Детальное картирование местонахождений с учетом данных о структуре растительного покрова, особенностях геоморфологии и гидрологического режима позволило выяснить характер экологической приуроченности индикаторных видов, оценить активность, степень их уязвимости (рис. 3).

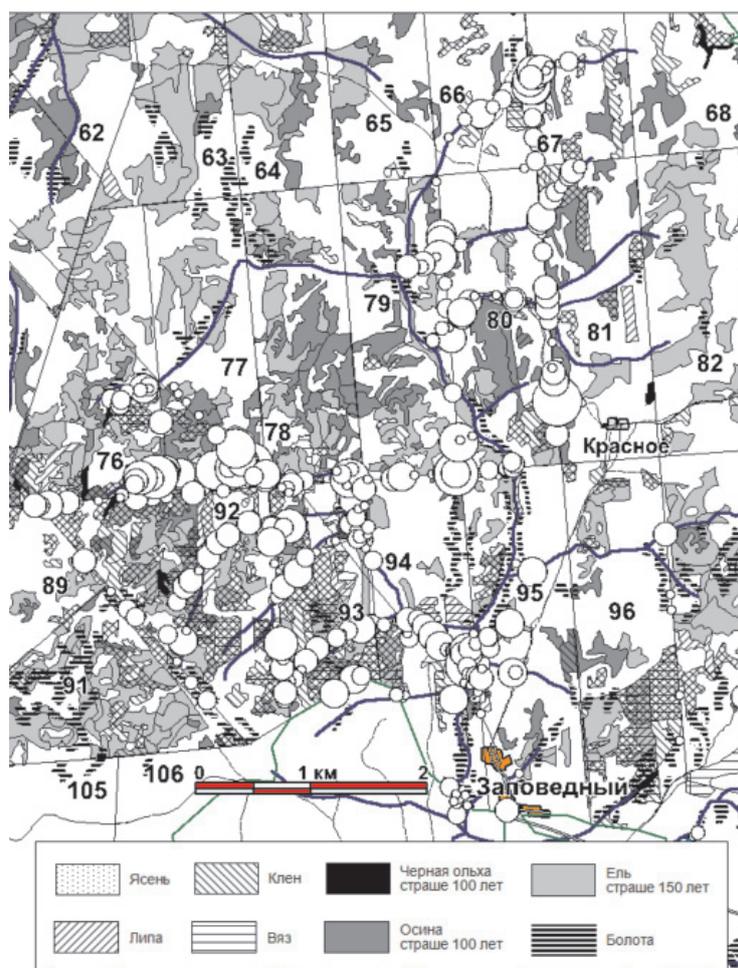


Рис. 3. Характер распределения местонахождений (белые кружки) индикаторных видов лишайников и мохообразных в верховьях р. Межи с учетом уровня концентрации находок разных видов в одном местообитании: уровень концентрации варьируется в интервале 1–9; цифрами указаны номера кварталов ЦЛГПБЗ

Выявлены группы индикаторных видов, связанных с широколиственными древесными породами, старовозрастными ельниками, приручьевыми и пойменными фитоценозами. По результатам картирования определена встречаемость индикаторных видов, заложена основа для мониторинговых наблюдений [8].

Заключение

Использование при организации комплексного биомониторинга природных экосистем центральной части Каспийско-Балтийского водораздела Фурье-ИК спектрального анализа лишайников, предложенных способов оценки роли инвазионной фракции и детальное изучение индикаторных видов старовозрастных коренных лесных фитоценозов повысило эффективность реализуемой модели мониторинга. Целесообразно более широкое применение отмеченных подходов при разработке модели мониторинга в других регионах.

Список литературы

1. Алещенко Г.М., Букварева Е.Н., Щербakov А.В. Использование экспертных оценок для анализа территории по критериям биоразнообразия // Успехи соврем. биологии. – 1995. – Т. 115, Вып. 6. – С. 645–654.
2. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Нотов А.А. Черная книга флоры Тверской области: чужеродные виды растений в экосистемах Тверского региона. – М.: КМК, 2011. – 279 с. (Сер. «Чужеродные виды России»).
3. Выявление и обследование биологически ценных лесов на Северо-Западе Европейской части России: учеб. пособие: в 2 т. – СПб., 2009. – Т. 1. – 238 с.; Т. 2. – 258 с.
4. О ботанико-географической специфике флоры Валдайской возвышенности / С.М. Дементьева, А.А. Нотов, Л.В. Зуева, С.А. Иванова // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. – 2011. – Вып. 23, № 20. – С. 114–128.
5. Нотов А.А. Национальный парк «Завидово»: Сосудистые растения, мохообразные, лишайники. – М.: Деловой мир, 2010. – 432 с.
6. Нотов А.А. Сопряженный анализ компонентов флоры как метод выявления флористической специфики природных комплексов разного уровня // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. – 2012. – Вып. 28, № 25. – С. 80–101.
7. Нотов А.А., Гимельбрант Д.Е., Урбанавичус Г.П. Аннотированный список лишенофлоры Тверской области. – Тверь: ТвГУ, 2011. – 124 с.
8. Возможности использования ГИС-технологий для выяснения характера распространения индикаторных видов лишайников и мохообразных / А.А. Нотов, А.Д. Потемкин, Д.Е. Гимельбрант, В.П. Волков, А.В. Павлов // Динамика многолетних процессов в экосистемах ЦЛГПБЗ. – Великие Луки, 2012. – С. 328–356. (Тр. ЦЛГПБЗ; Вып. 6).
9. Применение метода Фурье-ИК спектроскопии для лишеноиндикации атмосферного загрязнения в городских районах / А.Ф. Уразбахтина, С.Д. Хижняк, С.М. Дементьева, А.А. Нотов, П.М. Пахомов // Растительные ресурсы. – 2005. – Т. 41, вып. 2. – С. 139–147.
10. Юрцев Б.А. Эколого-географическая структура биологического разнообразия и стратегия его учета и охраны // Биологическое разнообразие: подходы к изучению и сохранению. – СПб., 1992. – С. 7–21.
11. Meisurova A.F., Khizhnyak S.D., Pakhomov P.M. IR spectroscopic study of the chemical composition of epiphytic lichens // Journal of Applied Spectroscopy. – 2011. – Vol. 78, Iss. 5. – P. 711–18.

References

1. Aleshchenko G.M., Bukvareva E.N., Scherbakov A.V. *Ispol'zovanie jekspertnyh ocenok dlja analiza territorii po kriterijam bioraznობrazija* [The use of expert assessments for the analysis of territories by criteria of biodiversity] // *Uspehi sovremennoj biologii*. 1995. T. 115, vyp. 6. pp. 645–654.
2. Vinogradova J.K., Majorov S.R., Notov A.A. *Chernaja kniga flory Tverskoj oblasti: chuzherodnye vidy rastenij v jekosistemah Tverskogo regiona* [The black book of flora of the Tver region: alien plant species in the ecosystems of the Tver region]. Moscow: KMK, 2011. 279 p. (Serija «Chuzherodnye vidy Rossii»).
3. *Vyjavlenie i obsledovanie biologicheski cennyh lesov na Severo-Zapade Evropejskoj chasti Rossii* [Identification and examination of biologically valuable forests in the North-West of the European part of Russia]: Uchebnoe posobie: v 2 t. Saint-Petersburg, 2009. T. 1. 238 p. T. 2. 258 p.
4. Dementeva S.M., Notov A.A., Zueva L.V., Ivanova S.A. *O botaniko-geograficheskoj specifike flory Valdajskoj vozvyshehnosti* [On phyto-geographical specifics of the flora of the Valdai hills]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Biologija i jekologija*. 2011. Vyp. 23, № 20. Pp. 114–128.
5. Notov A.A. *Nacional'nyj park «Zavidovo»: Sosudistye rastenija, mohoobraznye, lishajniki* [The national Park «Zavidovo»: Vascular plants, bryophytes, lichens]. Moscow: Delovoj mir, 2010. 432 p.
6. Notov A.A. *Soprjazhennyj analiz komponentov flory kak metod vyjavlenija floristicheskoj specifiky prirodnyh kompleksov raznogo urovnja* [Integrated analysis of components of flora as a method of identifying floristic the specifics of the natural complexes of different level]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Biologija i jekologija*. 2012. Vyp. 28, no. 25. pp. 80–101.
7. Notov A.A., Himelbrant D.E., Urbanavichus G.P. *Annotirovannyj spisok lihenoflory Tverskoj oblasti* [Annotated list of lichen flora of the Tver region]. Tver': Tvgu, 2011. 124 p.
8. Notov A.A., Potemkin A.D., Himelbrant D.E., Volkov V.P., Pavlov A.V. *Vozmozhnosti ispol'zovanija GIS-tehnologii dlja vyjasnenija haraktera rasprostranenija indikatornyh vidov lishajnikov i mohoobraznyh* [The possibility of the use of GIS technology to determine the nature of distribution of indicator species of lichens and mosses]. *Dinamika mnogoletnih processov v jekosistemah CLGPBZ. Velikie Luki*, 2012. pp. 328–356. (Trudy CLGPBZ; Vyp. 6).
9. Urazbaktina A.F., Khizhnyak S.D., Dementieva S.M., Notov A.A., Pakhomov P.M. *Primenenie metoda Fur'e-ik spektroskopii dlja lihenoindikacii atmosfernogo zagryaznenija v gorodskih rajonah* [Application of the method of FTIR spectroscopy for lichen-indications atmospheric pollution in urban areas] // *Rastitel'nye resursy*. 2005. T. 41, vyp. 2. pp. 139–147.
10. Yurtsev B.A. *Jekologo-geograficheskaja struktura biologicheskogo raznობrazija i strategija ego ucheta i ohrany* [Ecologo-geographical structure of biological diversity and the strategy for its consideration and protection]. *Biologicheskoe raznობrazija: podhody k izucheniju i sohraneniu*. Saint-Petersburg, 1992. pp. 7–21.
11. Meisurova A.F., Khizhnyak S.D., Pakhomov P.M. IR spectroscopic study of the chemical composition of epiphytic lichens. *Journal of Applied Spectroscopy*. 2011. Vol. 78, Iss. 5. pp. 711–18.

Рецензенты:

Виноградова Ю.К., д.б.н., главный научный сотрудник, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН», г. Москва;

Тохтарь В.К., д.б.н., профессор, директор Ботанического сада, ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород.

Работа поступила в редакцию 10.09.2013.