

УДК 504.064.2:574.474

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПО СОСТОЯНИЮ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Н. М. Казнина¹, А. Ф. Титов¹, Ю. В. Батова¹,
Н. В. Доршакова², Т. А. Карапетян²

¹Институт биологии Карельского научного центра РАН

²Петрозаводский государственный университет

Проведено исследование травянистых фитоценозов, расположенных на разных по степени загрязнения свинцом участках в г. Петрозаводске. Установлено, что сформированные на загрязненных участках травянистые сообщества характеризуются меньшим по сравнению с условно чистыми территориями количеством видов (родов и семейств) и увеличением доли более устойчивых видов из семейства *Poaceae*, а также снижением продуктивности надземной биомассы фитоценоза. При этом у доминирующих в сообществах видов злаков – ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.) и тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) – уменьшаются абсолютные значения большинства морфометрических признаков, среди которых наиболее чувствительным к загрязнению почвы оказался признак «площадь листовой пластинки» второго от соцветия листа. Сделан вывод о возможности использования ряда показателей, характеризующих состояние растительности в целом и отдельных видов растений, в качестве критериев при оценке степени загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами, в частности свинцом, что в свою очередь может быть использовано для ранней диагностики заболеваний у населения, проживающего на этих территориях.

Ключевые слова: техногенное загрязнение, тяжелые металлы, травянистая растительность, *Dactylis glomerata* L., *Phleum pratense* L.

**N. M. Kaznina, A. F. Titov, Yu. V. Batova, N. V. Dorshakova,
T. A. Karapetyan. THE ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC POLLUTION
OF THE ENVIRONMENT WITH HEAVY METALS BASED ON THE CONDITION
OF VEGETATION**

The study of herbaceous vegetation growing in different parts of the City of Petrozavodsk varying in lead-pollution levels was conducted. It was established that the herbaceous communities formed at contaminated sites were characterized by fewer of species (genera and families) than those in relatively clean territories, higher share of more tolerant species of the family *Poaceae*, and a decrease in the production of aboveground biomass. At the same time, a decrease in the absolute values of a majority of morphometric characters, among which the most sensitive to soil pollution is “leaf surface area” of the second leaf from the inflorescence, is observed in the dominant grasse species (*Dactylis glomerata* L. and *Phleum pratense* L.). The conclusion on the applicability of a number of parameters characterizing the state of vegetation as a whole and individual plant spe-

cies as criteria for assessing the level of environmental pollution with heavy metals (in particular lead) which, in turn, can be used for early diagnosis of diseases in the population inhabiting the territories, is drawn.

Key words: industrial pollution, heavy metals, herbaceous vegetation, *Dactylis glomerata* L., *Phleum pratense* L.

Введение

На протяжении последних десятилетий в результате активного антропогенного воздействия на природную среду и усиления миграции техногенных веществ в почве, водоемах и воздухе происходят серьезные изменения в содержании химических элементов, что отрицательно сказывается на состоянии биоты и способствует формированию новых патологий у человека. При этом в окружающей среде увеличивается концентрация токсичных элементов, в том числе из группы тяжелых металлов, что приводит к нарушениям жизненно важных функций у всех живых организмов, включая растения, животных и человека, в то время как содержание многих необходимых элементов заметно сокращается. Подобные изменения особенно опасны на северных территориях, для которых характерен замедленный темп восстановления биоты и изначально сниженное количество целого ряда микроэлементов (меди, молибдена и др.) в почвах [Горбачев и др., 2007].

Повышение уровня тяжелых металлов в окружающей среде приводит к дисбалансу микроэлементного состава в организме человека и стимулирует развитие болезней пищеварительной, сердечно-сосудистой, нервной системы, а также опорно-двигательного аппарата и органов дыхания, которые в настоящее время являются предметом особого внимания из-за высоких показателей заболеваемости населения. Для северных территорий, где природно-климатические условия усиливают неблагоприятный фон, связанный с загрязнением, риск таких заболеваний еще более высок [Доршакова, Карапетян, 2007]. Поэтому в медицинской практике усиливается актуальность поиска прогностических параметров (предикторов) патологии, связанной с изменением микроэлементного статуса человека, проживающего в районах с повышенным уровнем техногенного загрязнения, а также разработка эффективных лечебных и профилактических программ.

Однако для успешного решения такого рода задач необходим поиск надежных критериев и новых подходов для оценки степени

загрязнения среды, не связанных непосредственно с исследованием самого человека. Одним из таких подходов может стать изучение состояния растительности загрязненных территорий, поскольку растения достаточно чутко реагируют на повышение содержания тяжелых металлов в окружающей среде и легко поддаются анализу. При этом появление у растений негативных симптомов, вероятно, может служить одним из индикаторов возможных нарушений в организме человека, в частности, повышения концентрации тяжелых металлов и снижения – необходимых элементов.

Исходя из этого, задачей данной работы явилось изучение влияния техногенного загрязнения почвы свинцом (одним из наиболее распространенных загрязнителей из группы тяжелых металлов) на состояние травянистой растительности с целью выявления простых и надежных критериев оценки степени загрязнения им территорий для осуществления ранней диагностики заболеваний, связанных с нарушением микроэлементного гомеостаза у проживающего там населения.

Материалы и методы

Исследования проводили в г. Петрозаводске – наиболее крупном промышленном центре Республики Карелия с высокой плотностью населения и большим количеством автотранспорта. В качестве критерия, характеризующего влияние техногенного загрязнения на здоровье населения, длительно проживающего в г. Петрозаводске, использовали изменение микроэлементного статуса в крови больных внебольничной пневмонией ($n = 32$) и нейрциркулярной дистонией ($n = 35$) по сравнению со здоровыми реципиентами ($n = 35$).

Для выявления показателей состояния растительности, которые могли бы служить наиболее надежными критериями оценки степени загрязнения территорий с целью проведения ранней диагностики заболеваний у проживающего в этих районах населения, были выбраны три участка с разной степенью техногенного загрязнения. Участок 1 (контроль) – условно чистый участок, расположенный на территории

Таблица 1. Влияние техногенного загрязнения почвы на общее число видов, их проективное покрытие и продуктивность травянистых фитоценозов

Показатель	Участок 1	Участок 2	Участок 3
Число семейств	21	13	10
Число родов	39	39	27
Число видов	43	41	31
Общее проективное покрытие	100	95	90
Проективное покрытие злаков	40	45	53
Проективное покрытие бобовых	32	25	25
Проективное покрытие разнотравья	28	30	22
Продуктивность фитоценоза, кг/м ² надземной массы	1,76 ± 0,10	1,54 ± 0,12	1,40 ± 0,07

Агробиологической станции Института биологии КарНЦ РАН, участок 2 – в непосредственной близости от пересечения железной дороги и автомагистрали (район Сулажгоры) и участок 3 – вблизи промышленного предприятия (Онежского тракторного завода). Содержание свинца в почве на контрольном участке составляло 5,4 мг/кг на сухой вес, вблизи автомагистрали – 15,3 мг/кг, вблизи ОТЗ – 25,8 мг/кг.

О состоянии растительности судили по изменению видового состава, общему проективному покрытию, запасу надземной биомассы, а также на основании изучения морфологических признаков у двух содоминирующих видов растений из семейства Poaceae – ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.) и тимopheевки луговой (*Phleum pratense* L.).

Геоботаническое описание растительных сообществ на участках (10 x 10 м) осуществляли по стандартной методике [Миркин и др., 2000]. Запас сырой надземной биомассы (кг/м²) определяли на площадках 0,5 x 0,5 м (n = 5). Оценку влияния загрязнения почвы на растения проводили на основании изменения (по отношению к контролю) следующих показателей генеративного побега: высота побега, площадь второго от соцветия листа, длина соцветия. Объем выборки в пределах одного участка для морфометрического анализа составлял не менее 10 растений [Методические указания..., 1979]. Площадь листовой пластинки вычисляли по формуле $S = 2/3ld$, где l – длина, d – ширина листовой пластинки [Аникиев, Кутузов, 1961].

Результаты и обсуждение

Как известно, техногенно загрязненные территории характеризуются повышенным содержанием тяжелых металлов в окружающей среде, что негативно отражается на здоровье проживающего там населения. Город Петрозаводск, согласно литературным данным, не является исключением: вблизи крупных

промышленных предприятий и автомагистралей концентрация целого ряда тяжелых металлов в почве заметно превышает их фоновый уровень для республики [Федорец, Медведева, 2005]. Среди них один из наиболее распространенных загрязнителей, входящих в группу тяжелых металлов, – свинец.

Свинец способен накапливаться в организме человека и вызывать целый ряд серьезных заболеваний, связанных, в частности, с нарушением микроэлементного состава. Так, проведенный анализ крови людей, длительно проживающих в г. Петрозаводске и имеющих такие заболевания, как внебольничная пневмония и нейроциркулярная дистония, выявил определенные изменения микроэлементного состава крови у больных по сравнению со здоровыми респондентами. В частности, у больных в крови обнаружено увеличение (в 1,2 и 1,8 раза соответственно) содержания свинца, при этом содержание ряда необходимых микроэлементов – железа, марганца, меди и цинка, напротив, было заметно снижено.

Поскольку содержание свинца в окружающей среде постоянно возрастает, риск возникновения заболеваний, связанных с повышением его концентрации в организме человека, чрезвычайно высок. Это свидетельствует о необходимости поиска критериев оценки степени загрязнения окружающей среды данным элементом. Нами предложено в качестве таких критериев использовать некоторые показатели состояния травянистой растительности.

Проведенные исследования показали, что на изученных участках, характеризующихся разной степенью загрязнения свинцом, различается видовой состав фитоценозов (табл. 1). В частности, на контрольном участке сформировалось злаково-бобово-разнотравное сообщество, в котором выявлено 43 вида покрытосеменных растений, относящихся к 39 родам и 21 семейству. Участок 2 представлен злаково-разнотравным сообществом, содержащим

Таблица 2. Морфометрические показатели главного побега у растений *Dactylis glomerata* L. и *Phleum pratense* L.

№ участка	Морфометрические показатели					
	высота побега, см	% к контролю	площадь листа, см ²	% к контролю	длина соцветия, см	% к контролю
<i>Dactylis glomerata</i> L.						
1	132,0 ± 5,0	100	16,6 ± 1,3	100	13,5 ± 0,5	100
2	114,0 ± 1,9	86*	14,0 ± 0,9	84*	12,3 ± 1,1	90*
3	112,6 ± 2,4	85*	9,4 ± 0,6	57*	10,8 ± 0,7	80*
<i>Phleum pratense</i> L.						
1	101,3 ± 4,4	100	12,7 ± 0,9	100	6,0 ± 0,6	100
2	102,0 ± 2,6	101	9,6 ± 0,6	76*	5,7 ± 0,3	95
3	92,7 ± 4,4	92	9,3 ± 0,8	73*	4,3 ± 0,4	72*

Примечание. * – различия с контрольным участком достоверны при $p < 0,05$.

41 вид (39 родов и 13 семейств). На участке 3 сформировалось смешанно-злаковое сообщество, которое содержит 31 вид растений (27 родов и 10 семейств). В целом количество видов (родов и семейств) в сообществе на загрязненных участках оказалось меньше. Отмеченные различия связаны, на наш взгляд, не только с разным генезисом этих сообществ и различным возрастом, но и со способностью разных видов растений произрастать на загрязненных территориях. В частности, известно, что одними из наиболее устойчивых к техногенному загрязнению видов являются представители семейства Злаков.

Это подтверждают и наши данные определения проективного покрытия видов. В частности, несмотря на то что на всех изученных участках общее проективное покрытие растительности было высоким и составляло 90–100 %, проективное покрытие отдельных групп растений с повышением техногенной нагрузки изменялось: снижалось у бобовых и разнотравья, а повышалось у злаков. Усиление ценотической роли видов растений из семейства Poaceae в фитоценозах, расположенных на техногенно загрязненных территориях, было обнаружено также в других регионах, в частности, вблизи промышленных предприятий в Сыктывкаре [Мартыненко, 1996] и Нижнем Тагиле [Жуйкова, 2009]. Это связано с высокой устойчивостью целого ряда видов дикорастущих злаков (*Agrostis capillaris*, *Dactylis glomerata*, *Elytrigia repens*, *Phleum pratense* и др.) к повышенным концентрациям тяжелых металлов в почве, что отмечалось как в полевых опытах, так и в лабораторных экспериментах [Атабаева, 2007; Жуйкова, 2009; Казнина и др., 2009].

С увеличением степени загрязнения участков уменьшалась также продуктивность фитоценозов. Так, если на контрольном участке запас надземной биомассы составил в среднем 1,76 кг/м², то на участке 2 – 1,54 кг/м², а на участке 3 – лишь 1,40 кг/м².

Известно, что о состоянии растительности на техногенно загрязненных территориях можно судить и по состоянию отдельных растений, в частности, тех видов, которые доминируют или содоминируют в сообществе. При этом наиболее распространенными критериями такой оценки являются количественные изменения их морфологических признаков [Злобин, 1985; Фролова, 1998]. Проведенный нами морфометрический анализ растений доминирующих видов показал, что у *D. glomerata* на загрязненных участках заметно снижались (по сравнению с контролем) все изученные нами показатели (табл. 2). В отличие от этого у *Ph. pratense* уменьшалась только площадь листа, а на наиболее загрязненном участке 3 – еще и длина соцветия.

Таким образом, о степени техногенного загрязнения территорий свинцом можно судить по состоянию растительности. В частности, с увеличением степени загрязнения в сообществах уменьшается общее количество видов (родов и семейств) растений, однако увеличивается доля видов из семейства Poaceae; также снижается продуктивность надземной биомассы фитоценоза. У доминирующих в сообществах видов злаков – *D. glomerata* и *P. pratense* – уменьшаются абсолютные значения морфометрических признаков, среди которых наиболее чувствительным к техногенному загрязнению почвы показателем оказалась площадь листовой пластинки второго от соцветия листа.

Полученные данные позволяют говорить о возможности использования ряда показателей состояния растительности и отдельных видов растений для оценки степени техногенного загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами, в частности свинцом, что в свою очередь может быть использовано для ранней диагностики заболеваний, связанных с нарушением микроэлементного гомеостаза у населения, проживающего на этих территориях.

Исследования выполнены в рамках ГЗ № 0221-2014-00024 при частичной поддержке РГНФ (грант 13-06-00414).

Литература

Аникиев В. В., Кутузов Ф. Ф. Новый способ определения площади листовой поверхности у злаков // Физиология растений. 1961. Т. 8, № 3. С. 375–377.

Атабаева С. Д. Физиолого-биохимические основы действия тяжелых металлов на растения: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Алматы, 2007. 34 с.

Горбачев А. Л., Добродеева Л. К., Теддер Ю. Р., Шацова Е. Н. Биогеохимическая характеристика северных регионов. Микроэлементный статус населения Архангельской области и прогноз развития эндемических заболеваний // Экология человека. 2007. № 1. С. 4–11.

Злобин Ю. А. О некоторых параметрах оценки реакции ценопопуляций на влияние антропогенных факторов // Антропогенные процессы в растительности. Уфа, 1985. С. 89–101.

Доршакова Н. В., Карапетян Т. А. Состояние здоровья населения Севера России // Для кадровика: вопросы Севера. М.: ИД «МЦФЭР», 2007. № 3. С. 8–12.

Казнина Н. М., Титов А. Ф., Лайдинен Г. Ф., Батова Ю. В. Влияние промышленного загрязнения

почвы тяжелыми металлами на морфологические признаки растений *Phleum pratense* L. // Труды КарНЦ РАН. Сер. Экспериментальная биология. 2009. № 3. С. 50–55.

Жуйкова Т. В. Реакция ценопопуляций и травянистых сообществ на химическое загрязнение среды: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Екатеринбург, 2009. 27 с.

Мартыненко В. А. Растительный покров техногенных экотопов г. Сыктывкара и его окрестностей // Биологическое разнообразие антропогенно трансформированных ландшафтов европейского северо-востока России. Сыктывкар, 1996. С. 7–13.

Методические указания по изучению многолетних кормовых трав. Л.: Изд-во ВИР, 1979. 43 с.

Миркин Б. М., Наумова Л. Г., Соломещ А. И. Современная наука о растительности. М.: Логос, 2000. 264 с.

Федорец Н. Г., Медведева М. В. Эколого-микробиологическая оценка состояния почв города Петрозаводска. Петрозаводск: Изд-во Карельского НЦ РАН, 2005. 96 с.

Фролова Н. П. Семенное воспроизводство *Taraxacum officinale* Wigg. в условиях техногенных загрязнений // Репродуктивная биология. Тр. КомиНЦ УрО, 1998. С. 41–50.

Поступила в редакцию 01.10.2013

References

Anikiev V. V., Kutuzov F. F. Novyi sposob opredeleniya ploshchadi listovoi poverkhnosti u zlakov [New method for determining leaf-area duration in cereals]. *Fiziologiya rastenii [Plant Physiology]*. 1961. T. 8, № 3. S. 375–377.

Atabaeva S. D. Fiziologo-biokhimicheskie osnovy deistviya tyazhelykh metallov na rasteniya [Physiological and chemical bases of heavy metals effect on plants]: avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk. Almaty, 2007. 34 s.

Dorshakova N. V., Karapetyan T. A. Sostoyanie zdorov'ya naseleniya Severa Rossii [Health state of population in Russian North]. *Dlya kadrovika: voprosy Severa [For human resources manager: aspects of North]*. Moscow: Izdatel'skii dom MTsFER, 2007. № 3. S. 8–12.

Fedorets N. G., Medvedeva M. V. Ekologo-mikrobiologicheskaya otsenka sostoyaniya pochv goroda Petrozavodsk [Ecological and microbiological assessment of soil condition of city of Petrozavodsk]. Petrozavodsk: Izd-vo Karel'skogo NTs RAN, 2005. 96 s.

Frolova N. P. Semennoe vosproizvodstvo *Taraxacum officinale* Wigg. v usloviyakh tekhnogennykh zagryaznenii [Seed reproduction of *Taraxacum officinale* Wigg. under technogenic pollution]. *Reproduktivnaya biologiya. Tr. KomiNTs UrO [Reproductive biology, Proceedings of KomiRC UrD]*, 1998. S. 41–50.

Gorbachev A. L., Dobrodeeva L. K., Tedder Yu. R., Shatsova E. N. Biogeokhimicheskaya kharakteristika severnykh regionov. Mikroelementnyi status naseleniya Arkhangel'skoi oblasti i prognoz razvitiya endemicheskikh zabolevanii [Biogeochemical characteristics of Northern regions. Microelement status of population

of Arkhangel'sk region and projected growth of endemic diseases]. *Ekologiya cheloveka [Human ecology]*. 2007. № 1. S. 4–11.

Kaznina N. M., Titov A. F., Laidinen G. F., Batova Yu. V. Vliyaniye promyshlennogo zagryazneniya pochvy tyazhelymi metallami na morfologicheskie priznaki rastenii *Phleum pratense* L. [Effect of industrial heavy metal pollution of soil on the morphological characteristics of *Phleum pratense* L.]. *Trudy KarNTs RAN. Ser. Eksperimental'naya biologiya [Proceedings of KarRC RAS. Experimental Biology Series]*. 2009. № 3. S. 50–55.

Zhuykova T. V. Reaktsiya tsenopopulyatsii i travyanistykh soobshchestv na khimicheskoe zagryaznenie sredy [Response of cenopopulations and herbaceous communities to chemical pollution of environment]: avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk. Ekaterinburg, 2009. 27 s.

Martynenko V. A. Rastitel'nyi pokrov tekhnogennykh ekotopov g. Syktyvka i ego okrestnostei [Vegetation cover of technogenic ecotopes of city of Syktyvkar and its suburbs]. *Biologicheskoe raznoobrazie antropogenno transformirovannykh landshaftov evropeiskogo severo-vostoka Rossii [Biological diversity of anthropogenically transformed landscapes in European North-East of Russia]*. Syktyvkar, 1996. S. 7–13.

Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu mnogoletnykh kormovykh trav [Methodological guidelines for studying perennial forage grasses]. Leningrad: Izd-vo VIR, 1979. 43 s.

*Mirkin B. M., Naumova L. G., Solomeshch A. I. So-
vremennaya nauka o rastitel'nosti [Modern vegetation
science]. Moscow: Logos, 2000. 264 s.*

*Zlobin Yu. A. O nekotorykh parametrah ot-
senki reaktsii tsenopulyatsii na vliyanie antropo-
gennykh faktorov [Some parameters of assessing*

*cenopopulation response to anthropogenic influ-
ence]. Antropogennyye protsessy v rastitel'nosti [An-
thropogenic processes in vegetation]. Ufa, 1985.
S. 89–101.*

Received October 01, 2013

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Казнина Наталья Мстиславовна

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск,
Республика Карелия, Россия, 185910
e-mail: kaznina@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 762706

Титов Александр Федорович

главный научный сотрудник, чл.-корр. РАН, д. б. н., проф.
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск,
Республика Карелия, Россия, 185910
e-mail: titov@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 769710

Батова Юлия Валерьевна

научный сотрудник, к. б. н.
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск,
Республика Карелия, Россия, 185910
e-mail: batova@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 762706

Доршакова Наталья Владимировна

зав. кафедрой семейной медицины (общей врачебной
практики), д. м. н., проф.
Петрозаводский государственный университет
пр. Ленина, 33, Петрозаводск,
Республика Карелия, Россия, 185910
e-mail: nvdorshakova@mail.ru

Карапетын Татьяна Алексеевна

проф. кафедры семейной медицины (общей врачебной
практики), д. м. н.
Петрозаводский государственный университет
пр. Ленина, 33, Петрозаводск,
Республика Карелия, Россия, 185910
e-mail: kara@karelia.ru

CONTRIBUTORS:

Kaznina, Natalia

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: kaznina@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 762706

Titov, Alexandr

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: titov@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 769710

Batova, Yulia

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: batova@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 762706

Dorshakova, Natalia

Petrozavodsk State University
33 Lenin St., 185910 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: nvdorshakova@mail.ru

Karapetyan, Tatyana

Petrozavodsk State University
33 Lenin St., 185910 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: kara@karelia.ru