

мируют ряд: Азот аммонийный (13) – Нефтепродукты, NO₂ (8, 7) – NO₃, Карбонаты (4, 3). Таким образом, донные отложения относятся к категории чистых на удалении 40 км от места сброса дренажных вод ЯГОКа, а на формирование химического состава седиментов оказывают влияние уже сточные воды хозяйственно-бытовые и животноводческих комплексов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FZWG-2025-0006.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас «Природные ресурсы и экологическое состояние Белгородской области» : учебно-справочное картографическое пособие / Под ред. Ф.Н. Лисецкого. Белгород : Изд-во БелГУ, 2005. 179 с.
2. Концепция и программа комплексного использования природных ресурсов ЭКО ВОРСКЛА / В.И. Забара, Ф.Н. Лисецкий, А.В. Дегтярь [и др.]. Белгород-Борисовка : Крестьянское Дело, 1997. 74 с. ISBN 5-86146-060-4.
3. Корнилова Е.А., Лисецкий Ф.Н., Родионова М.Е. Гидроэкологические особенности реки Ворсклы (российский участок) в контексте природно-хозяйственных изменений // Региональные геосистемы. 2023. Т. 47. № 4. С. 550–568.
4. Лисецкий Ф.Н., Панин А.Г. Бассейновая концепция природопользования на сельских территориях Белгородской области // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. № 1. С. 48-51.
5. Петин А.Н., Петина М.А., Погорельцева Е.И. Природные минеральные воды Белгородской области: современное использование и перспективы дальнейшего освоения // Научные ведомости БелГУ. Сер. «Естественные науки». 2017. № 11. С. 114-127.
6. Соковнина О.В. Микрюкова Е.М. Возможные схемы и методы очистки и утилизации рудничных и дренажных сточных вод // Общество. 2020. № 3(18). С. 16-20.

УДК 504.054:504.3.054

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ АРКТИКИ С ПОМОЩЬЮ ФИТОИНДИКАЦИИ

Опекунова Марина Германовна, д-р географ. наук, проф., ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», проф., **Россия**, Санкт-Петербург, *m.opukunova@mail.ru*

Опекунов Анатолий Юрьевич, д-р геол.-минерал. наук, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», проф., **Россия**, Санкт-Петербург, *a_opukunov@mail.ru*

Кукушкин Степан Юрьевич, канд. географ. наук, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», доцент, **Россия**, Санкт-Петербург, *stepic@yandex.ru*

Лисенков Сергей Алексеевич, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», аспирант, **Россия**, Санкт-Петербург, *serlisenkov@mail.ru*

Никулина Анна Романовна, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», магистрант, **Россия**, Санкт-Петербург, *anna.2001-nik@mail.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены результаты изучения растений на территории муниципального образования Новый Уренгой. Определено содержание металлов (Na, Ca, K, Al, Sc, Fe, Mn, Cd, Cr, Zn, Sr, Cu, Ni, Ba, Pb, Co, V) в индикаторных видах растений: лиственнице сибирской *Larix sibirica*, багульнике *Ledum decumbens*, лишайнике *Cladonia stellaris*. Выявлены индикаторные ассоциации химических элементов антропогенного загрязнения. На основе функции желательности Харрингтона рассчитан интегральный биоиндикационный показатель *BIP* (*Bioindication Integral Parameter*), отражающий интенсивность трансформации природных комплексов. Показана возможность использования фитоиндикации для оценки антропогенного нарушения и загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: окружающая среда, загрязнение металлами, г. Новый Уренгой, химический состав растений, виды-индикаторы

DIAGNOSTICS OF THE STATE AND POLLUTION OF THE URBANIZED TERRITORY OF THE ARCTIC WITH THE HELP OF PHYTOINDICATION

Opekunova M.G., DSc in Geography, Prof., FSBEI HE «Saint Petersburg State University», Prof., Russia, Saint Petersburg, m.opkunova@mail.ru

Opekunov A.Yu., DSc in Geology and Mineralogy, FSBEI HE «Saint Petersburg State University», Prof., Russia, Saint Petersburg, a_opkunov@mail.ru

Kukushkin St.Yu., PhD in Geography, sciences, FGBOU VO «Saint Petersburg State University», associate professor, Russia, Saint Petersburg, stepic@yandex.ru

Lisenkov S.A., FGBOU VO «Saint Petersburg State University», postgraduate student, Russia, Saint Petersburg, serlisenkov@mail.ru

Nikulina A.R., FGBOU VO «Saint Petersburg State University», master's student, Russia, Saint Petersburg, anna.2001-nik@mail.ru

Annotation. The article considers the results of plants studying in the territory of the municipal formation Novy Urengoy. The content of metals (Na, Ca, K, Al, Sc, Fe, Mn, Cd, Cr, Zn, Sr, Cu, Ni, Ba, Pb, Co, V) in indicator plant species of Siberian larch *Larix sibirica*, wild rosemary *Ledum decumbens*, lichen *Cladonia stellaris* was determined. Indicator associations of chemical elements of anthropogenic pollution were identified. Based on the Harrington desirability function, the *integral bioindication parameter BIP* was calculated, reflecting the intensity of the transformation of the natural environment. The possibility of using phytoindication to assess anthropogenic disturbance and pollution of the environment was shown.

Keywords: environment, metal pollution, Novy Urengoy, chemical composition of plants, indicator species

В последние годы добыча нефти и газа на севере Западной Сибири сопровождается урбанизацией территории и ростом численности городского населения. В суровых условиях Арктики загрязнение среды обитания особо опасно для здоровья населения, поэтому контроль уровня содержания химических элементов в компонентах урбоэкосистем имеет первостепенное значение. Малозаметные изменения, происходящие на первых этапах антропогенной трансформации природной среды, практически неуловимы современными средствами экологического контроля. В связи с этим необходима разработка и внедрение в практику чувствительных методов оценки состояния компонентов природных комплексов. При поиске решения этой проблемы большое внимание уделяется методам фитоиндикации, основаным на реакциях аборигенных видов биоты, и применению индикаторных видов растений для контроля качества окружающей среды [2, 7].

Целью исследований стало изучение изменения химического состава растений под влиянием комплексного антропогенного воздействия на территории муниципального образования Новой Уренгой и оценка возможности использования этих изменений для экологического мониторинга. Новый Уренгой – газовая столица Российской Федерации, в состав которой входят г. Новый Уренгой и два поселка (Коротчаево и Лимбяха), удаленные от центра города на 76 км. Город возник с освоением крупнейшего в мире Уренгойского газового месторождения. Экономiku города определяют предприятия, непосредственно связанные с добычей и транспортировкой газа, газоконденсата и нефти.

Эколого-биогеохимические исследования проведены на 19 станциях мониторинга, расположенных в различных микрорайонах жилой застройки, в зоне воздействия аэропорта, полигонов коммунальных отходов, линейных объектов транспортировки нефти и газа, а также автомобильного и железнодорожного транспорта. За пределами городской застройки изучено изменение природных комплексов на двух профилях в зоне воздействия автомобильной трассы Сургут – Салехард. На профилях исследовано по пять пикетов, заложенных от обочины дороги через 50 м с выходом на условный фон тундровых экосистем.

На каждой пробной площади проведено детальное физико-географическое описание, включающее характеристику всех компонентов ландшафта, и отбор проб почв и индикаторных видов растений лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb. (корка), багульника *Ledum decumbens* (Ait.) Lodd. ex Steud. и лишайника *Cladonia stellaris* (L.) Rubh. Всего было отобрано и проанализировано 80 проб почв и 90 проб растений. Анализ содержания металлов (Na, K, Ca, Al, Cu, Zn, Fe, Pb, Sr, Sc, Cd, Ni, Co, Cr, V, Ba и Mn) выполнен в Центральной ла-

боратории ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на приборе «ELAN-6100 DRC» с полным кислотным разложением проб по ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98.

Статистический анализ проведен с помощью программных продуктов STATISTICA 26.0 (StatSoft) и Microsoft Excel версии 16.22 и включал описательную статистику, корреляционный, кластерный анализы и факторный анализ методом главных компонент (ФА МГК). Для оценки состояния окружающей среды рассчитан интегральный биоиндикационный показатель VIP на основе функции желательности Харрингтона [6], который учитывает степень превышения концентраций химических элементов в растениях относительно условного фона [3]. Весовые коэффициенты приняты равными 1.

Содержание металлов и зольность индикаторных видов растений *L. sibirica*, *L. decumbens* и *C. stellaris* изменяются в широких пределах и зависят как от их систематической принадлежности, так и от химизма окружающей среды, в том числе от уровня антропогенного загрязнения (таблица 1).

Олиготрофные виды растений тундровых экосистем чутко реагируют на изменение химизма окружающей среды и активно накапливают макро- и микроэлементы пропорционально увеличению их концентрации в среде обитания. Важной характеристикой минерального обмена растений является зольность, которая в изученных растениях изменяется от 0,68 до 7,38 %. Наиболее показательно увеличение в 4 раза зольности корки лиственницы на территории города. Самым стабильным химическим составом отличается багульник *L. decumbens*. Как и в поверхностном горизонте почв, наибольшей контрастностью характеризуется содержание в его надземной биомассе Sr, Ba, Sc, V, Mn, Cr и Pb. Превышение максимальных над минимальными значениями составляет 5–8 раз. Меньшая дисперсия характерна для концентраций Cu, Zn, Ni, Co и Fe, превышающих региональный фон растений в 2,5–4 раза [5]. Атмосферное загрязнение фиксируется увеличением концентрации Pb, Fe, Zn и резким снижением накопления Mn, что хорошо согласуется с известным антагонизмом в накоплении этих металлов растениями [1, 8]. В наибольшей степени такие изменения проявляются в химическом составе багульника при комплексном загрязнении на территории города и вблизи полигонов ТКО.

Таблица 1 – Зольность и среднее содержание металлов в растениях на территории муниципального образования Новый Уренгой, мг/кг сух. в-ва (1 – *Larix sibirica*, 2 – *Ledum decumbens*, 3 – *Cladonia stellaris*)

Металл	г. Новый Уренгой			Условно фоновая территория			Региональный фон растений [5]		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Зольность, %	6,42	2,86	2,90	1,65	2,03	1,66	1,61	2,47	1,73
Na	467	154	232	103	36,2	146	166	82	118
K	1429	2806	1389	425	2008	980	424	3347	1020
Ca	4435	4545	1075	2002	3820	923	3134	4308	472
Sc	0,68	0,13	0,30	0,10	0,03	0,16	0,06	0,03	0,11
V	5,7	0,95	2,23	0,89	0,23	1,26	0,61	0,48	1,15
Cr	4,9	1,3	2,6	0,91	0,30	1,22	0,54	0,53	1,02
Mn	260	786	61	164	783	60	145	900	56
Fe	1542	310	673	279	113	389	187	111	283
Co	0,80	1,12	0,36	0,19	0,08	0,25	0,14	0,11	0,22
Ni	2,45	1,83	1,40	0,77	0,84	0,78	0,89	1,26	0,79
Cu	10,4	4,3	3,7	3,18	3,4	2,09	3,38	4,76	2,56
Zn	34	27,6	24,4	10,5	17,5	13,3	16,9	23,3	14,6
Sr	25	15,9	7,0	9,47	6,54	3,53	18,8	7,65	3,69
Cd	0,08	0,02	0,04	0,05	0,01	0,04	0,067	0,030	0,058
Ba	377	267	400	86	98	36	138	98	15
Pb	8,35	1,18	2,23	1,81	0,24	1,05	2,32	0,44	1,36

Интегральный биоиндикационный показатель указывает на высокий уровень загрязнения на площадке на берегу р. Варенга-Яха около локальной котельной (VIP = 0,33), средний – в городе вблизи АЗС (0,53), около несанкционированной свалки снега на берегу р. Седэ-Яха в районе городского пляжа (0,51). В п. Коротчаево VIP находится в диапазоне 0,62–0,72 (средний и низкий уровень загрязнения). В районе полигона ТКО VIP составляет 0,52–0,62. Высокий и средний уровень загрязнения (VIP = 0,29–0,60) фиксируется в окрестностях полигона для захоронения промышленных отходов «Экотехнология». Условному фону соответствуют значения VIP от 0,73 до 0,87.

Необходимо подчеркнуть практически идентичные реакции биоиндикаторов на загрязнение окружающей среды металлами. Нельзя констатировать большую чувствительность биоиндикационного показателя для какого-то одного растения по сравнению с другими. Это еще раз подтверждает необходимость использования нескольких видов индикаторных растений при экологическом мониторинге. Как было показано ранее [5], многие растения Крайнего Севера за счет стеноитности не могут быть использованы с целью фитомониторинга. Наиболее распространенными видами, отвечающими требованиям индикаторной значимости, являются *L. sibirica*, *L. decumbens*, *C. stellaris*. Накопление в них Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba, Pb, Na, K, Fe указывает на изменения в состоянии городской среды, что хорошо согласуется с результатами исследований на территории городских поселений [3, 4].

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 25-24-00162.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеева-Попова Н.В., Дроздова И.В. Особенности минерального состава растений и почв на ультраосновных породах Усть-Бельского горного массива (среднее течение реки Анадырь). II. Растения // Ботанический журнал, 1996. Т. 81. № 5. С. 70-78.
2. Опекунова М.Г. Диагностика техногенной трансформации ландшафтов на основе биоиндикации: дис. ... д-ра. геогр. наук: 25.00.23. СПб., 2013. 402 с.
3. Сравнительный анализ эффективности методов биоиндикации при мониторинговых исследованиях состояния окружающей среды в Санкт-Петербурге / М.Г. Опекунова, А.Р. Никулина, И.В. Смешко, В.С. Кириченко // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Науки о Земле. 2023. Т. 68. № 2. С. 331-356. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2023.207>
4. Скрининг ключевых биогеохимических индикаторов экологического состояния крупных промышленных агломераций (на примере Московского района Санкт-Петербурга) / М.Г. Опекунова, А.Р. Никулина, А.Ю. Опекунов [и др.] // Экология и промышленность России. 2024. Т. 28. № 3. С. 44-49. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2024-3-44-49>
5. Фоновое содержание химических элементов в растениях севера Западной Сибири и его изменение под влиянием нефтегазодобычи / М.Г. Опекунова, А.Ю. Опекунов, С.Ю. Кукушкин [и др.] // Сибирский экологический журнал. 2024. Т. 31. № 2. С. 359-372.
6. Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г. Интегральная оценка загрязнения ландшафта с использованием функции желательности Харрингтона // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. 2014. Вып. 4. С. 101-113.
7. Сафонов А.И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций Донецк : Изд. дом «ЭДИТ», 2024. 289 с.
8. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants, fourth ed. CRC Press, Boca Raton, 2011.