

## ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И ФИТОИНДИКАЦИЯ

УДК 504.73.05: 631.416.9

### **Взаимосвязь биоразнообразия растительных сообществ в окрестностях Хапчерангинского горно-обогатительного комбината с уровнем накопления экотоксикантов (Zn, Cd, Pb, Cu, As) в почве**

### **The relationship between the biodiversity of plant communities in the vicinity of the Hapcheranga Mining and Processing Combine with the level of ecotoxicants (Zn, Cd, Pb, Cu, As) accumulation in soil**

Бондаревич Е. А., Коцюржинская Н. Н., Самойленко Г. Ю.

Bondarevich E. A., Kotsyurzhinskaya N. N., Samoilenko G. Yu.

*ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия» Минздрава России, г. Чита, Россия.*

*E-mail: bondarevich84@mail.ru; nata\_nik\_k@mail.ru*

*Chita State Medical Academy, Chita, Russia*

**Реферат.** Территория Хапчерангинского горно-обогатительного комбината характеризуется значительной техногенной трансформацией. В результате физико-химического воздействия и накопления техноземов произошло изменение условий произрастания большинства видов растений местной флоры. Это привело к деградации природных экосистем и уменьшению биоразнообразия. Совокупность этих факторов негативно сказывается и на здоровье населения. Отмечено значительное превышение по содержанию как отдельных токсичных элементов (Zn, Pb и As), так и суммарного показателя загрязненности (Zc) почвенного покрова.

**Summary.** The territory of the Hapcheranginsk ore mining and processing enterprise is characterized by a significant technogenic transformation. As a result of the physic-chemical effect and the accumulation of technozems, the conditions for the growth of the most plants species of the local flora have changed. This has led to the degradation of natural ecosystems and the reduction of biodiversity. The combination of these factors negatively affects the health of population. A significant excess of the content of both individual toxic elements (Zn, Pb and As), as well as the total index of contamination (Zc) of the soil cover was noted.

Растения характеризуются достаточно высокой устойчивостью к действию токсикантов, однако длительное их воздействие приводит к нарушениям в метаболизме и понижению жизнеспособности или гибели. Широко распространенными поллютантами являются тяжелые металлы, характеризующиеся неограниченным по времени негативным воздействием и интенсивным накоплением. Эта группа веществ образуют разнообразные металлоорганические соединения, нарушающие биохимические и физиологические процессы. Территория Забайкалья уже третье столетие является важным источником минеральных ресурсов для России, что привело к развитию огромных по площади техногенных ландшафтов. Эти районы характеризуются значительным избыточным содержанием в почвах и техноземах элементов–экотоксикантов, в частности, тяжелых металлов. Кроме непосредственного действия на нарушенные территории, в результате миграции поллютантов они способны оказывать негативное воздействие на природные экосистемы, вызывая их деградацию и уменьшая их биологическое разнообразие.

**Целью** работы было определение корреляции между накоплением тяжелых металлов в почвах и уровнем биоразнообразия фитоценозов в условно чистых и подвергнутых техногенному загрязнению территориях Забайкалья.

### Материалы и методы

Образцы почв для элементного анализа отбирали в двукратной повторности, согласно общепринятым методикам в июне 2017 г. Почвенные образцы были взяты из корнеобитаемого слоя (0–15 см). Навески проб массой  $5,0 \pm 0,1$  г помещали в химические стаканы ( $V = 150\text{--}200$  мл), заливали 25,0 мл 50%-м раствором  $\text{HNO}_3$  и кипятили 10 минут на электроплитке. Далее по каплям прибавляли 5,0 мл 30%-го раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$  и кипятили ещё 10 минут. После охлаждения вытяжку отфильтровывали в мерную колбу ( $V = 50$  мл), а фильтр с осадком помещали вновь в химический стакан и кипятили 30 минут в 20,0 мл 1 М  $\text{HNO}_3$ . Объединяли полученную вытяжку с предыдущей и доводили суммарный объем экстракта до 50 мл дистиллированной водой. Для определения тяжелых металлов 1 мл экстракта высушивали в тигле и прокаливали при  $450^\circ\text{C}$ . Полученный безуглеродный остаток растворяли в концентрированной  $\text{HCOOH}$  и определяли концентрации Zn, Cd, Pb и Cu. Определение мышьяка проводили из той же вытяжки, предварительно восстанавливая ионы  $\text{As}^{+5}$  до  $\text{As}^{+3}$  насыщенным раствором сульфата гидразиния в присутствии концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Методические ..., 2005).

Определение валового содержания тяжелых металлов и мышьяка в почве определяли методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе «ТА–Универсал», методом добавок (Методические ..., 2005). Статистическая обработка проводилась в программе TA–Lab.

Для оценки интенсивности и степени опасности загрязнения почвы химическими веществами был рассчитан коэффициент техногенной концентрации элемента ( $K_c$ ), полученный отношением кон-

центрации элемента в исследуемой почве к концентрации элемента в фоновой почве:  $K_c = \frac{K_{\text{общ}}}{K_{\text{фон}}}$ . Расчёт суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ) производили согласно формуле:  $Z_c = \sum n K_c - (n - i)$ , где  $i = 1$ . Критические значения, характеризующие суммарное загрязнение  $Z_c$  по степени опасности, имеют следующие диапазоны:  $Z_c < 16$  – низкий уровень;  $16 < Z_c < 32$  – средний, умеренно опасный;  $32 < Z_c < 64$  – высокий, опасный;  $64 < Z_c < 128$  – очень высокий, очень опасный;  $Z_c > 128$  – максимальный, чрезвычайно опасный (Регионы ..., 2014). Расчет индексов биоразнообразия проводили с помощью программы «PAST», ver. 3.0 (Hammer et al., 2001). Были вычислены следующие показатели: число видов (S), индекс видового богатства Маргалефа (Margalef –  $D_{Mg}$ ); индекс неоднородности Шеннона (Shannon – H), распределение как показатель степени соотношения индекса Шеннона к числу видов, в которую возведен экспоненциальный показатель ( $e^{H/S}$ ) и Фишера–Корбета–Вильямса (или  $\alpha$ –Фишера (Fisher alpha)) (Мэгарран, 1992; Hammer et al., 2001; Лебедева, Криволицкий, 2002). Для исследования были выбраны участки возле разрушенного горно-обогатительного комбината (ГОК) и хвостохранилища, расположенного в границах сельского поселения Хапчерангинское.

### Результаты и их обсуждение

Территория возле руин фабрики Хапчерангинского ГОКа находится в границах сельского поселения, по этой причине природные фитоценозы характеризуются депрессией и действием на них мощного антропогенного фактора. Хвостохранилище, расположено в пойме р. Тырин в центральной части села, отличается полным отсутствием исходных растительных сообществ, за счет срезания и перемешивания почв и накоплением пустой породы, сформировавшей многометровый слой техноземов. Растительные сообщества, описание которых проводилось в июне 2017 г., имели сильно угнетенное состояние, однако основной причиной была длительная засуха.

На склоне горы, к которой пристроены стены бывшей фабрики ГОКа, фитоценозы имели наиболее богатый видовой состав, мало сходный с фоновым участком. В качестве основных видов были представлены *Carex pediformis* С. А. Mey., *Artemisia gmelinii* Weber ex Stechm., *Artemisia sieversiana* Willd., *Nonea rossica* Steven и *Potentilla semiglabra* Juz. Растения были повреждены животными (на склоне проводится выпас коз), виды образовывали пятна, и отсутствовал сплошной растительный покров. Общее количество видов растений в трансекте от привершинной части склона к пойме р. Тырин и сухостепным склонам левого борта реки значительно уменьшалось. Минимальные значения этого показателя, как и вычисленных индексов биоразнообразия, зафиксированы для территории хвостохранилища. Однако в годы хорошего увлажнения эта территория покрыта плотным покровом из *Chamaenerion*

*angustifolium* (L.) Scop., видами родов *Atriplex*, *Artemisia* и другими растениями–рудералами.

Фоновый участок представлял собой горную низкотравную степь, с куртинами *Koeleria macrantha* (Ledeb.) Schult., *Filifolium sibiricum* (L.) Kitam., *Saxifraga spinulosa* Adams, *Saussurea salicifolia* (L.) DC., а также участками кустарниковых зарослей из *Spiraea aquilegifolia* Pall. и *Dasiphora parvifolia* (Fisch.) Juz. Проплешин и полностью лишенных растительности участков в окрестностях фоновой площадки не отмечалось.

Значения большинства индексов биоразнообразия имели максимальные величины на крутых участках склона возле ГОКа и в условиях фонового участка (табл.). При этом распределение ( $e^{H/S}$ ) имело большую чувствительность к числу видов и, например, в пункте № 4 и принимало наибольшие значения, хотя площадка характеризовалась крайней видовой бедностью.

По содержанию элементов–токсикантов в почвах были выявлены следующие особенности. По количеству цинка и свинца максимальные отклонения от ПДК зафиксированы на склоне возле фабрики ГОКа, а также возле неё и на территории хвостохранилища. По кадмию и меди превышений ПДК не отмечалось. Во всех пробах из селитебной зоны с. Хапчеранга регистрировались значительные превышения по содержанию мышьяка (табл. ).

Таблица

Обобщенные данные по числу видов растений, индексам биоразнообразия, массового содержания ионов тяжелых металлов и мышьяка (в мг/кг почвы) и эколого-геохимических коэффициентов

№ пунктов	1	2	3	4	5	6	Фон
Покрытие, %	40	30	10	90	30	30	40
S	31	11	7	2	8	9	21
<b>Индексы биоразнообразия</b>							
<b>H</b>	2,308	1,327	1,294	0,501	0,897	1,906	2,853
$e^{H/S}$	0,324	0,343	0,521	0,825	0,307	0,747	0,826
$D_{Mg}$	6,163	2,323	1,255	0,256	1,517	1,662	4,969
<b><math>\alpha</math>-Фишера</b>	12,88	3,574	1,625	0,417	2,04	2,236	12,2
<b>ПДК*, в мг/кг</b>	<b>Валовое содержание поллютантов, мг/кг почвы</b>						
<b>Zn (23,0)</b>	209 ± 63	8,7 ± 2,2	31 ± 8	0	12 ± 3	0,34 ± 0,09	5,4 ± 0,8
<b>Cd (3,0)</b>	1,2 ± 0,4	7·10 <sup>-4</sup> ± 2·10 <sup>-4</sup>	0,48 ± 0,12	1,2 ± 0,3	11·10 <sup>-3</sup> ± 2·10 <sup>-3</sup>	1,7·10 <sup>-4</sup> ± 5·10 <sup>-5</sup>	0,0168 ± 0,007
<b>Pb (6,0)</b>	137 ± 41	7,1 ± 1,8	3,6 ± 0,9	> 0,5	2 ± 0,5	2,2 ± 0,5	1,43 ± 0,2
<b>Cu (23,0)</b>	2,5 ± 0,6	> 1	1 ± 0,3	> 1	> 1	2 ± 0,5	1,42 ± 0,2
<b>As (2,0)</b>	126,7 ± 32	59,6 ± 17,9	68,6 ± 18,5	56,3 ± 14,2	21 ± 8	44 ± 13	2 ± 0,4
<b>Коэффициенты техногенной концентрации (Kc) и суммарного показателя загрязнения (Zc)</b>							
<b>Kc (Zn)</b>	38,73	1,61	5,74	-	2,22	0,063	
<b>Kc (Cd)</b>	71,43	0,04	28,57	71,43	0,65	0,01	
<b>Kc (Pb)</b>	95,8	4,97	2,52	-	1,39	1,54	
<b>Kc (Cu)</b>	1,76	-	0,71	-	-	1,41	
<b>Kc (As)</b>	63,35	29,8	34,3	28,15	10,5	22	
<b>Zc</b>	267,07	34,38	68,84	98,58	11,11	23,36	

Примеч.: \* – предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в почве согласно ГН 2.1.7.2041-06.

Номера пунктов и их характеристика: 1 – привершинная часть горы, выше развалин бывшей фабрики ГОКа (ю–в экспозиция, склон 30°); 2 – подножье склона у бывшей фабрики ГОКа (ю–в экспозиция, склон 4–5°); 3 – северная часть хвостохранилища; 4 – пойма реки Тырин, к югу от хвостохранилища, на границе луга и сухостепного склона западной экспозиции; 5 – склон к востоку от хвостохранилища (с–з экспозиция, наклон 5–7°); 6 – западная окраина с. Хапчеранга, к западу от хвостохранилища (в экспозиция, 5–7°); фон – участок степного сообщества у оз. Хапчеранга в 12 км к югу от села.

Вычисление коэффициентов техногенной концентрации и суммарного загрязнения выявил следующие тренды: в пункте 1 почвы и техноземы имели максимальный, чрезвычайно опасный уровень загрязнения поллютантами, пробы 3 и 4 – очень высокий, опасный, пробы 2 и 6 – средний, умеренно опасный, а проба 5 низкий уровень загрязненности. При этом основным загрязнителем в большинстве проб был мышьяк, а в пробах участка № 1 ещё цинк и свинец. Однако значительного угнетения растений в этом пункте не отмечено, что характеризует низкую подвижность и биоадсорбцию поллютантов представленными видами, и, возможно, имеющимися у них молекулярными механизмами защиты от их поступления или интенсификацией экскреции из клеток. Способы защиты при этом могут иметь следующие стратегии : связывание ионов токсикантов с макромолекулами как внутри клеток, так и с клетчаткой клеточной стенки, либо выталкивание их наружу с помощью ионных транспортеров (Бертини и др., 2013).

### **Выводы**

Таким образом, сравнение валового содержания тяжелых металлов и мышьяка и вычисленных эколого-геохимических коэффициентов с индексами биоразнообразия не позволило выявить прямых достоверных взаимосвязей. Для уточнения такого рода взаимосвязей требуется сравнение количеств подвижных форм поллютантов и учета коэффициентов биологического накопления и распределения в произрастающих на этой территории видов растений.

### **ЛИТЕРАТУРА**

*Бертини И., Грей Г., Стифель Э., Валентине Дж.* Биологическая неорганическая химия: структура и реакционная способность: в 2 т. Т. 1. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – С. 109–117.

*Лебедева Н. В., Криволицкий Д. А.* Биологическое разнообразие и методы его оценки // География и мониторинг биоразнообразия. – М.: НУМЦ, 2002. – С. 57–65.

Методическое указание 31-03/05. Количественный химический анализ проб почв, тепличных грунтов, илов, донных отложений, сапропелей, твердых отходов. Методика выполнения измерений массовых концентраций цинка, кадмия, свинца, меди, марганца, мышьяка, ртути методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА. – Томск: НПП «Томьаналит», 2005. – 47 с.

*Мэгарран Э.* Экологическое разнообразие и его измерение / Под ред. Чернова Ю. И. – М.: Мир, 1992. – С. 14–17.

Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния / Под ред. Н. С. Касимова. – М.: ИП Филимонов М. В., 2014. – С. 314–317.

*Hammer Ø., Harpe D. A. T., Ryan P. D.* PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontologia Electronica, 2001. – Vol. 4, No. 1. – 9 p.