

УДК 504.064.2

## БИОТИЧЕСКИЙ ФАКТОР В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩА ТОКУРСКОЙ ЗИФ)

© 2016 Л.М. Павлова, В.И. Радомская, Л.П. Шумилова

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

Статья поступила в редакцию 26.05.2016

В статье представлен комплексный анализ показателей, характеризующих экологическое состояние территории севера Амурской области, нарушенной горными работами. В качестве биотического индикатора использована вегетативная биомасса тополя душистого (*Populus suaveolens* Fisch.), произрастающего в зоне влияния хвостохранилища золотоизвлекательной фабрики (ЗИФ).

Ключевые слова: техногенная территория, экосистема, оценка, биотические показатели, биоиндикатор, коэффициент биологического накопления, тяжелые металлы

Экологическое нормирование и оценка состояния экосистем являются одними из самых сложных вопросов в области практической экологии. В настоящее время оценка состояния экосистем осуществляется, главным образом, на основе санитарно-гигиенического нормирования (ПДК/ОДК, ОБУВ) присутствующих элементов или веществ, хотя экологическая неэффективность такого «химического» подхода уже давно не вызывает сомнений [1]. ПДК были разработаны для защиты организма человека и не преследовали цели защиты природных комплексов. Для объективной оценки состояния природной среды необходим подход, позволяющий не только констатировать количественные уровни поллютантов, но и оценивать качественное состояние биотической компоненты в экосистеме. Наиболее удовлетворяющей таким требованиям и лишенной многих недостатков методологии ПДК является концепция биотического контроля, которая предполагает существование причинной связи между уровнем воздействия на биоту и регистрируемым откликом последней на длительность и степень воздействия [1]. В основе такого контроля лежит оценочная система используемых в качестве показателей различных характеристик живых организмов.

Благодаря генетически обусловленным адаптивно-регуляторным реакциям организма к меняющимся условиям среды обитания живые системы формируют диапазон этих показателей, характеризующих состояние организма от здорового до патологического. Вследствие чего биологические методы анализа позволяют получать интегральную оценку существующей экологической ситуации. Единой системы биотических критериев для оценки состояния экосистем в мировой практике пока не существует. Разрабатываются методы биоиндикации и биотестирования [2] с использованием в качестве тест-объектов разнообразных живых организмов (растений, простейших, насекомых, земноводных, микроорганизмов), методы биогеохимической индикации, в основе которой лежат показатели здоровья человека [3] и др. Качественное состояние компонентов природной среды характеризуют

физическими, химическими и биологическими показателями [4], но вопрос о способах интегрирования этих данных однозначно не решен. В работе [5] предложена шкала экологического состояния, регистрирующая наносимый вред компонентам окружающей среды как уменьшением значений показателей её свойств от нормы (полюс «-»), так и чрезмерным увеличением (полюс «+»). За состояние, близкое к экологической норме условно принят диапазон 1-3 уровней с суммарным отклонением показателей от нормы до  $\pm 30\%$ . В интервале потери качества от  $\pm 30\%$  до  $\pm 40\%$  находится зона экологического риска, потеря качества свыше  $\pm 40\%$  указывает на деградацию экосистем.

Ранее нами [6] было продемонстрировано сопряженное изменение значений биотических показателей и химических параметров при оценке качества наземной и воздушной сред урбанизированной территории. Наиболее чувствительными тест-объектами, позволяющими оценить суммарный комплекс воздействий, характерных для урбанизированной территории, были признаны древесные растения, которые испытывают влияние поллютантов постоянно, что отражается на их биохимических показателях. При проведении мониторинговых исследований в качестве тестовых показателей могут быть использованы как внешние признаки - морфология листьев, хвои, особенности пигментации, аномалии органов, так и биохимические свойства - изменение уровня фотосинтеза, количества хлорофиллов, пигментации, которые регистрируются специальными приборами.

Интенсивное развитие горнодобывающей промышленности в прошлое столетие привело не только к появлению громадных территорий, занятых горным производством, но и к резкому возрастанию площадей разрушенных естественных ландшафтов, как за счет горнотехнических работ, так и за счет складирования отходов производства. По оценке [7] в России в целом на горных предприятиях ежегодно накапливается до 7 млрд. тонн отходов, а в отвалах и хранилищах, на полигонах и неанкционированных свалках находится свыше 80 млрд. тонн твердых отходов, занимающих значительные территории. Эти антропогенно-технические образования нарушают целостность естественных ландшафтов, изменяют их природный облик и, самое главное, влияют на состояние биотической компоненты экосистем в целом. Кроме того, техногенные отходы обогатительных фабрик выступают крупными источниками химического загрязнения водных потоков

Павлова Людмила Михайловна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией. E-mail: pav@ascnet.ru

Радомская Валентина Ивановна, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник. E-mail: radomskaya@ascnet.ru

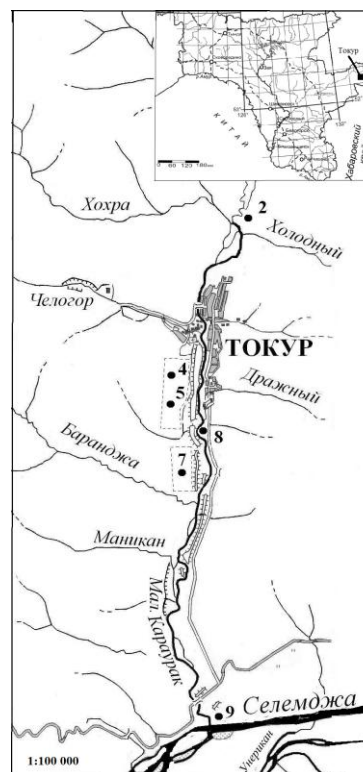
Шумилова Людмила Павловна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник. E-mail: shumilova.85@mail.ru

за счет миграции токсичных химических элементов. Исследования, направленные на выявление степени экологической опасности любого рода техногенных отходов в процессе освоения недр, необходимы при разработке стратегии устойчивого развития горнодобывающих районов, особенно в зонах многолетнемерзлых пород.

**Цель работы:** - комплексный анализ химических и биотических характеристик экосистемы зоны хвостохранилища отходов золотоизвлекательной фабрики на примере Токурской ЗИФ, расположенной на северо-востоке Амурской области (Верхне-Селемджинский район).

**Методика исследования.** Токурское месторождение эксплуатировалось с момента его открытия (1939 г.) и до 1996 г., когда было поставлено на мокрую консервацию, но отходы фабричных хвостов складировались в хвостохранилище только с 1965 г. Отбор проб почв, техногенных грунтов, растительной биомассы (листья тополя душистого *Populus suaveolens* Fisch) на территории обследования производили в летне-осенний периоды 2014 и 2015 гг. Точки отбора (рис.1) размещены следующим образом: т.2 (аллювиальная почва) расположена выше зоны рудника и хвостохранилища и принята за условно фоновую; т. 4, 5, 7 (грунты) – расположены непосредственно на старой и новой площадках хвостохранилища; т. 8 и 9 (почвогрунты) – расположены в зоне влияния хвостохранилища в широтном и меридианальном простираении. Содержание элементов в пробах определяли масс-спектральным (X-7, *Thermo Elemental*, США) и атомно-эмиссионным (ICAP-61, *Thermo Jarrell Ash*, США) с индуктивно связанной плазмой методами анализа (Сертификационный испытательный центр ИПТМиОМ РАН, г. Черноголовка). Минеральный состав грунтов хвостохранилища проведен с помощью бинокулярного микроскопа МБС-10 (ИГиП ДВО РАН, аналитик Воропаева Е.Н.). Оценка степени опасности среды обитания для живых организмов предусматривает, помимо количественных данных о содержании токсичных веществ или элементов и знания механизмов их токсического действия, комплексный анализ поведения поллютантов. Выполнить такой анализ возможно только с применением методов математической статистики. Обработку аналитических данных проводили с использованием программ STATISTICA, версия 7.0. Рассчитывали коэффициенты концентраций (Кс) и биологического поглощения (КПБ) элементов.

**Результаты и их обсуждение.** Хвостохранилище Токурской ЗИФ расположено в правобережной части долины (в пойме) р. Мал. Караурак (левый приток р.Селемджи) и представлено старой и новой площадками, размеры которых составляют соответственно 800x200 м и 770x350 м (рис. 1). Новая площадка, сброс пульпы в которую начат в середине 1980-х гг., расположена в 200 м южнее нижней ограждающей дамбы старого хвостохранилища. Ложе старого хвостохранилища сложено мерзлыми гравийно-галечными отложениями мощностью от 0,4 до 4,8 м [8]. Ложе нового хвостохранилища в 1950-х – 60-х гг. отработано драгой; дражные отвалы частично использовались и для отсыпки ограждающих дамб. Дражные отвалы сложены галечниками, мелкими валунами с гравийно-песчаным заполнителем; плотиком являются феллитизированные аргиллиты. Всего за период с 1965 г. по 1996 г. в хвостохранилище сброшено 2548 тыс. т. эфелей.



**Рис. 1.** Карта-схема района хвостохранилища Токурской ЗИФ: ●2 – точки отбора проб. Врезка – карта Амурской области

Хвостохранилище Токурской ЗИФ является частью техногенной экосистемы Токурского месторождения золото-кварцевой, малосульфидной формации и представляет собой лишнее гумусированное слоя поверхностное образование, сформированное рудами из разных горизонтов и участков, с неоднородным и сложным вещественным составом, характеризующемся высокой дисперсностью. На долю частиц размером 0,071-0,25 мм приходится 57-81%, практически полностью отсутствуют органические и минеральные коллоиды, что делает эти грунты более водопроницаемыми, способствуя интенсивному протеканию геохимических процессов. В минералогическом составе преобладают кварц – 10-34%, полевые шпаты - до 23 %, кальцит – до 5-55%, нечасто встречаются слюди-стглинистые минералы, гидроксиды железа, сульфиды и др. минералы. Группу поллютантов техногенного происхождения по химическому составу представляют различные вещества, среди которых наиболее опасны тяжелые металлы (ТМ). В табл. 1 представлено содержание ТМ и металлоидов в почвах и грунтах зоны влияния хвостохранилища Токурской ЗИФ.

В вещественном материале хвостохранилища по сравнению с показателями условно фоновой почвы обнаружено значительное превышение содержания As, незначительное Sb, Sr; для остальных элементов превышения не наблюдается. Сравнение со среднемировыми почвенными и кларковыми показателями указывает на существенное превышение в исследуемых почвенных пробах (т. 2, 9) Zn, As, Pb и незначительное Co, Cu, Sn, Sb, тогда как в грунтах хвостохранилища наблюдается всего лишь незначительное превышение только Sb и Pb. Превышение санитарно-гигиенических показателей по As и Pb наблюдается только для почвы.

**Таблица 1.** Содержание ТМ и металлоидов в почвах и грунтах зоны влияния хвостохранилища Токурской ЗИФ, мг/кг

Элемент	Точки отбора						Содержание по данным А.П. Виноградова [9]		ПДК/ОДК [10]
	2	4	5	7	8	9	земная кора	почвы	
Cr	47,83	29,84	29,84	32,7	43,8	131	83	200	0,05/6п*
Co	15,25	6,85	6,85	8,0	10,2	9,7	18	8	5п
Ni	22,35	15,23	15,23	14,7	21,8	23,3	58	40	4п
Cu	36,83	9,68	9,68	16,5	20,2	27,9	47	20	3п
Zn	122,04	43,64	43,64	51,0	70,6	153	83	50	23п
As	24,91	1641,99	1641,99	1251	561	38,2	1,7	5	2в
Rb	79,00	61,69	61,69	74,7	82,0	81,5	150	100	-
Sr	119,46	130,05	130,05	168	98,7	194	340	300	-
Mo	1,38	0,76	0,76	0,91	1,0	1,3	1,1	2	-
Cd	0,18	0,04	0,04	0,052	0,094	0,25	0,013	0,5	-
Sn	8,40	1,78	1,78	1,1	2,0	2,9	2,5	10	-
Sb	2,00	6,37	6,37	5,4	3,6	2,4	0,5	-	-
Tl	0,44	0,31	0,31	0,41	0,46	0,53	1	-	-
Pb	53,31	18,52	18,52	16,0	25,3	27,7	16	10	32в/6п

Примечание: «-» - нет данных; нижний индекс «в» - валовое содержание; «п» - подвижные формы; \* - для Cr<sup>6+</sup>/Cr<sup>3+</sup>; ПДК - предельно допустимая концентрации; ОДК - ориентировочно допустимая концентрация

Обработка аналитических данных методами математической статистики показывает, что в вегетативной биомассе тополя душистого, произрастающего в зоне влияния хвостохранилища, наблюдается неравномерное накопление практически большей части изученных элементов. О наличии участков с явными аномальными значениями изучаемых элементов свидетельствуют такие показатели, как стандартное отклонение, коэффициент вариации, асимметрия (табл. 2).

По значению коэффициента вариации крайне неоднородным распределением (более 100%) характеризуются Zn, As, Sr; остальные изучаемые элементы имеют однородное распределение. По коэффициенту

вариации тяжелых элементов построен следующий ряд убывания:

Zn>Sr>As>Cr>Cu>Rb>Ni>Mo>Co>Pb>Sb>Cd>Sn>Tl. Распределение считается симметричным, если показатель асимметрии равен нулю, если этот показатель существенно отличается от 0, то распределение несимметрично. Нормальное и равномерное распределение имеют Cd, Rb. Асимметрия распределения с длинным правым хвостом положительна. Если распределение имеет длинный левый хвост, то его асимметрия отрицательна. Таким образом, для большинства изучаемых элементов наблюдается некоторая асимметрия в левую или в правую сторону.

**Таблица 2.** Статистические параметры распределения микроэлементов в листьях тополя в зоне влияния хвостохранилища

Элемент	Содержание, мг/кг				Коэффициент вариации	Стандартное отклонение	Асимметрия
	среднее	медиана	min.	max.			
Cr	3,89±1,8	1,78	0,83	10,58	16,16	4,02	1,24
Co	0,78±0,14	0,72	0,41	1,27	0,11	0,32	0,59
Ni	2,16±0,58	1,79	0,79	3,98	1,66	1,29	0,57
Cu	5,86±1,08	6,29	1,34	8,56	5,77	2,40	-1,55
Zn	164,88±27,42	162,80	102,05	272,1	3759,49	61,31	1,07
As	22,35±13,61	5,20	0,36	72,44	926,47	30,44	1,21
Rb	4,94±0,66	4,83	3,18	6,88	2,20	1,48	0,19
Sr	130,93±16,94	142,83	60,68	169,4	1434,92	37,88	-1,55
Mo	0,40±0,16	0,27	0,06	0,91	0,13	0,36	0,75
Cd	0,30±0,054	0,29	0,13	0,45	0,01	0,12	-0,13
Sn	0,02±0,0045	0,03	0,001	0,04	0,0002	0,01	-1,71
Sb	0,07±0,04	0,03	0,00	0,21	0,01	0,09	1,07
Tl	0,0036±0,0016	0,0026	0,0005	0,010	0,00001	0,00357	1,06
Pb	0,50±0,14	0,43	0,19	0,89	0,10	0,32	0,48

Построенная дендрограмма (рис. 2) кластерного анализа элементного состава позволяет разбить изученные химические элементы на группы, которые объединяют элементы с наивысшими значениями меры сходства (парных коэффициентов корреляции Пирсона, r). Геохимические спектры микроэлементов в листьях тополя образуют значимые ассоциации (рис. 2). Отчетливо выделяются 4 группы микроассоциаций: Sr-Sn-Cu, Mo-Co, Sb-Ni, Tl-As-Cr. Эти микроэлементы,

соответствующим образом могут поступать в растительность через корневую систему.

Микроэлементный состав листьев произрастающего на хвостохранилище тополя по сравнению с тополем с условно фоновой территории изменяется. Приведенная ниже формула геохимической специализации микроэлементного состава по коэффициентам концентраций, отражает специфику минерально-химического состава вещества хвостохранилища: As<sub>73,9</sub>>Sb<sub>43,7</sub>>Tl<sub>8,5</sub>>Mo<sub>7,7</sub>>Cr<sub>5,4</sub>>Ni<sub>3,1</sub>>Pb<sub>2,8</sub>>Co<sub>2,1</sub>>Zn<sub>1,6</sub>>Sr<sub>1,1</sub>>Cu

$r = Rb > Cd > Sn$ . Тополь реагирует на техногенную нагрузку накоплением значительного количества As, Sb, Tl, Mo, Cr, Ni, Pb, Co, Zn в листьях и деконцентрацией Cd и Sn. Анализ полученных данных указывает на существенное накопление ряда металлов вегетативной биомассой тополя в зоне его влияния.

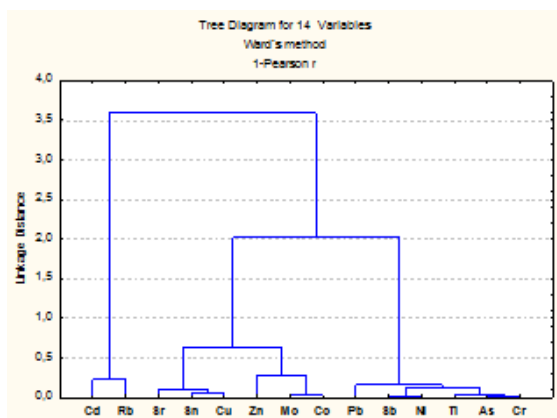


Рис. 2. Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра микроэлементов в листьях тополя на территории зоны влияния хвостохранилища Токурской ЗИФ

Степень вовлечения элементов в биологическую миграцию характеризуют величины коэффициентов биологического поглощения (табл. 3). К элементам «биологического накопления» относятся те, у кого КПБ > 1, элементы с КПБ < 1 – лишь «захватываются». В вегетативной биомассе тополя ряд элементов (Cr, Co, Ni) демонстрирует кардинальную смену тренда – от «среднего биологического захвата» в условно фоновой почве до «сильного биологического накопления» в грунтах хвостохранилища. Для остальных элементов в зоне влияния хвостохранилища усиливается только интенсивность либо «биологического накопления» – для Cu, Zn, Sr, Mo, Cd, либо «биологического захвата» – для As, Sb, Tl, Rb, Sn, Pb. Характер накопления элементов отражается на биохимических показателях – в вегетативной биомассе тополя из мест влияния хвостохранилища уменьшается общее количество фотосинтетических пигментов почти на 40%. Общее содержание хлорофилла в листьях тополя на фоновой территории составляет 1008,9 мг/100 г с.в., а на территории хвостохранилища – 621,1 мг/100 г с.в.

Таблица 3. Коэффициенты биологического поглощения (КБП) элементов вегетативной биомассой

Элемент	Точки отбора проб						Урбанизированная территория [11]	
	2	4	5	7	8	9	рекреация	промышленные районы
Cr	0,23	0,54	3,2	4,4	0,56	0,18	но	но
Co	0,37	1,03	2,5	1,7	0,84	1,12	но	но
Ni	0,48	1,95	3,0	3,7	0,86	0,69	но	но
Cu	2,20	1,87	12,0	5,5	4,08	3,15	но	14
Zn	12,20	31,64	84,4	41,2	32,68	15,89	12-21	15-39
As	0,20	0,06	0,4	0,8	0,08	1,00	но	но
Rb	0,86	0,70	1,0	0,6	1,05	1,14	но	но
Sr	13,66	6,31	15,5	11,9	19,00	11,80	6-8	8-19
Mo	0,59	1,60	16,1	11,6	3,25	3,08	но	но
Cd	24,26	67,01	39,1	69,2	60,12	24,02	но	но
Sn	0,06	0,01	0,2	0,4	0,18	0,11	но	но
Sb	0,01	0,11	0,3	0,5	0,05	0,06	но	но
Tl	0,02	0,02	0,3	0,3	0,08	0,06	но	но
Pb	0,05	0,26	0,7	0,7	0,27	0,09	но	но

Примечание: «но» - не определяли

**Выводы:** анализируя полученный массив данных можно отметить, что анализ только количественных данных не дает полной картины состояния биотической компоненты в техногенных экосистемах. Комплексный анализ сравнительных коэффициентов с обработкой методами математической статистики выявляют характер и направление динамики поведения элементов в биотической составляющей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Воробейчик, Е.Л. Экологическое нормирование токсических нагрузок на наземные экосистемы: автореф. дис.... д.б.н. - Екатеринбург, 2003. 54 с.
2. Мелехова, О.П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / О.П. Мелехова, Е.И. Егорова, Т.И. Евсеева и др. Монография. - М.: Изд. Центр «Академия», 2007. 288 с.
3. Евстафьева, Е.В. Биогеохимические основы экологического нормирования: практические шаги и перспективы внедрения в крымском регионе / Е.В. Евстафьева, С.А. Карпенко // VIII межд. биогеохим. школа, посвященная 150-летию со дня рождения акад. В.И. Вернадского.

Гродненский гос. ун-т: сб. мат. – М.: ГЕОХИ РАН, 2013. С. 43-47.

4. Об охране окружающей среды: Федер. закон: принят Госдумой РФ 10.01.2002 № 7-ФЗ: Российская газета, № 6. 12.01.2002 URL: <http://www.rg.ru/2002/01/12/oxranasredy-dok.html> (дата обращения 04.05.2015).
5. Шумилова, Л.П. Оценка экологического состояния почв и воздушной среды г. Благовещенска: автореф. дис.... к.б.н. - Владивосток, 2012. 22 с.
6. Павлова, Л.М. Анализ показателей биотического контроля для оценки состояния окружающей природной среды / Л.М. Павлова, Л.П. Шумилова, В.И. Радомская и др. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. №5 (1). С. 45-51.
7. Гула, К.Е. Оценка экологического состояния некоторых объектов окружающей среды в зоне влияния хвостохранилища / К.Е. Гула, О.М. Морина, Л.Т. Крупская, В.А. Морин // Системы. Методы. Технологии. 2012. № 3 (15). С. 128-133.
8. Федоров, Г.Ф. Технический отчет об инженерных изысканиях для составления технорабочего проекта реконструкции хвостового хозяйства рудника Токур ПО «Амурзолото» / Г.Ф. Федоров, В.В. Расторгуев. – ВНИИ-горцветмет, 1979. 1 кн. 166 л.

9. Алексеевко, В.А. Экологическая геохимия. – М.: Логос, 2000. 627 с.
10. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации химических веществ в почве. - М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
11. Павлова, Л.М. Состояние фотосинтетических пигментов в вегетативных органах древесных растений в городской среде / Л.М. Павлова, И.М. Котельникова, Н.Г. Куимова и др. // Экология урбанизированных территорий. 2010. №2. С. 98-105.

**BIOTIC FACTOR IN THE ECOLOGICAL ASSESSMENT OF TECHNOGENIC TERRITORY STATE (ON THE EXAMPLE OF TAILING PONDS OF TOKUR GOLD RECOVERY PLANT)**

© 2016 L.M. Pavlova, V.I. Radomskaya, L.P. Shumilova

Institute of Geology and Nature Management FEB RAS, Blagoveshchensk

The complex analysis of indicators characterizing the ecological state of the Amur oblast north territory, disturbed by mining operations is presented in this article. The vegetative biomass of fragrant poplar (*Populus suaveolens* Fisch.), growing in the area of tailings of Tokur gold recovery plant impact, was used as biotic indicator.

Key words: *technogenic territory, ecosystem, assessment, biotic indicators, bioindicator, bioaccumulation index, heavy metals*

---

*Lyudmila Pavlova, Candidate of Biology, Chief of the Laboratory. E-mail: pav@ascnet.ru*  
*Valentina Radomskaya, Candidate of Chemistry, Leading Research Fellow. E-mail: radomskaya@ascnet.ru*  
*Lyudmila Shumilova, Candidate of Biology, Senior Research Fellow. E-mail: shumilova.85@mail.ru*