



УДК 581.5(57)

Л.П. Гашкова

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ БОЛОТНЫМИ РАСТЕНИЯМИ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ¹

Рассматривается актуальная в настоящее время проблема определения фоновых значений содержания тяжелых металлов в растениях. Рассмотрено накопление Pb, Cu, Cd и Zn болотными растениями в ненарушенных местообитаниях Бакчарского, Колпашевского и Кожевниковского районов Томской области. Обнаружено, что содержание тяжелых металлов на верховых болотах, удаленных от источников загрязнения, довольно низкое, концентрация тяжелых металлов находится в пределах и ниже литературных данных для растений на незагрязненных почвах исследуемого региона. Проведен анализ вертикальной дифференциации содержания Pb, Cu, Cd и Zn в надземной и подземной частях растений древесного, травяно-кустарничкового, мохового ярусов. Установлено, что растения разных ярусов имеют неодинаковое соотношение содержания исследуемых элементов. В древесных растениях наиболее активно накапливается Zn, в мохообразных — Pb. В подземных частях сосудистых растений больше, чем в надземных, содержится Cu и Pb. Показаны геохимические особенности различных районов исследования, на которые наибольшее влияние оказывает видовой состав растений, уровень болотных вод, содержание элементов в торфе и мощность торфяной залежи.

биогенная аккумуляция, кадмий, медь, свинец, фоновые значения, цинк, ярусы растительности.

Болота являются наиболее подходящим объектом биоиндикации дальнего атмосферного переноса загрязнений, в том числе и тяжелых металлов. В настоящее время в биомониторинге атмосферного переноса активно применяется большинство видов болотных растений, получающих питание в основном из атмосферы, являясь фитоиндикаторами воздушного загрязнения². Фоновые значения содержания элементов в растениях на участках с минимальным антропогенным воздействием изучаются для определения степени загрязнения территорий³.

Особенности формирования внутренней биогеохимической структуры геосистем обусловлены характером взаимоотношений между отдельными группами растений, их геохимической специализацией⁴. Накопление элементов растениями и отложение их в торфе зависит от множества факторов, в том числе геологического происхождения и минерального состава подстилающей породы,

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-45-700418-ра.

² Glooschenko W.A., Arafat N. Atmospheric deposition of arsenic and selenium across Canada using Sphagnum moss as a biomonitor // Sci. Tot. Environ. 1988. Vol. 73(3). P. 269; Wojtuń B., Samecka-Cymerman A., Kolon K., Klink A., Kempers A. J. Andromeda polifolia and Oxycoccus microcarpus as pollution indicators for ombrotrophic bogs in the Western Sudety Mountains (SW Poland) // Journal of Environmental Science and Health. 2013. doi:[10.1080/10934529.2013.744578](https://doi.org/10.1080/10934529.2013.744578); Koz B., Cevik U. Lead adsorption capacity of some moss species used for heavy metal analysis // Ecological Indicators. 2014. doi:[10.1016/j.ecolind.2013.08.018](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.08.018); Kolon K., Ruczakowska A., Samecka-Cymerman A., Alexander J. Kempers A.J. Brachythecium rutabulum and Betula pendula as bioindicators of heavy metal pollution around a chlor-alkali plant in Poland // Ecological Indicators. 2015. doi:[10.1016/j.ecolind.2014.12.031](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.12.031)

³ Aulio K. Nutrient accumulation in Sphagnum mosses. II. Intra- and interspecific variation in four species from an ombrotrophic raised bog // Ann Bot Fenn. 1982. Vol. 19. P. 93; Московченко Д.В. Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири // География и природные ресурсы. 2006. № 1. С. 63.

⁴ Глазовская М.А. Биогеохимическая организованность экологического пространства в природных и антропогенных ландшафтах как критерий их устойчивости // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 1992. № 5. С. 6.

геоморфологии, гидрологии и ботанического состава торфяной залежи⁵. Физиологическая роль металлов как микроэлементов определяет уровень их содержания в растениях. В нормальных условиях поглощение этих элементов взаимосвязано между собой⁶. Изучение особенностей поглощения растениями элементов в районах с минимальной антропогенной нагрузкой позволяет выявлять естественную геохимическую структуру ландшафта. Эта структура сохраняется при отсутствии загрязнения, но на антропогенно нарушенных территориях может меняться, по уровню ее трансформации можно оценить степень воздействия на геосистему⁷.

Из опубликованных данных по содержанию Zn, Cu, Cd и Pb в разных видах болотных растений Западной Сибири наибольшее количество видов представлено в монографии Б.К. Бахнова⁸, но из рассматриваемых элементов приведены данные только по Cu и Zn. В статьях Д.В. Московченко проанализирован элементный состав трех видов болотных растений⁹. Работы Т.Н. Цыбуковой и М.В. Белоусова с соавторами¹⁰ содержат сведения по содержанию Zn в двух видах растений на одном из рассматриваемых в данной статье участков.

В Западной Сибири сохранились обширные территории ненарушенных болот. Исследование таких участков особенно важно для определения фоновых концентраций веществ и необходимо для оценки экологического состояния загрязненных территорий и разработки программ мониторинга¹¹. Увеличение уровня глобального загрязнения окружающей среды и возрастающая роль атмосферного переноса поллюантов ставит задачу установления характера и закономерностей накопления тяжелых металлов растениями для определения значений их фоновых концентраций на участках, даже максимально удаленных от загрязнителей.

Объекты и методы

Исследованные участки располагаются на юго-востоке Западно-Сибирской равнины, в подзоне южной тайги и подтайги, в Бакчарском, Кожевниковском и Колпашевском районах Томской области, в бассейнах рек Бакчар, Кинда и Кеть. По типологии и классификации болот Томской области они расположены в Иксинском, Шегарском и Ингузетском болотных районах¹².

Иксинский район комплексных болотных систем находится в подзоне южной тайги на плоской заболоченной озерно-аллювиальной суглинистой равнине с абсолютными отметками от 90 до 135 м. На междуречных равнинах преобладают дерново-подзолисто-глеевые почвы. В среднем в год выпадает 630 мм осадков, среднегодовая температура воздуха составляет 0,46 °С, сумма летних температур — около 1700 °С¹³. В пределах этого района рассмотрены верховое и переходное болота. На верховом болоте в бассейне реки Ключ пробы отбирались на 5 участках, расположенных между собой на расстоянии от 460 до 1300 м (табл. 1). Второе болото Иксинского болотного района расположено на террасе реки Бакчар и включает низинный и переходный участки, отстоящие друг от друга на расстоянии 500 м.

Ингузетский район олиготрофных и мезотрофных болотных систем речных террас расположен в подзоне южной тайги на плоской слабодренированной равнине с абсолютными

⁵ Malawska M., Ekonomiuk A., Wilkomirski, B. Chemical characteristics of some peatlands in southern Poland // *Mires and Peat*. 2006. Vol. 1. Art. 2. URL: <http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map01/-map0102.php> (дата обращения: 18.02.2015).

⁶ Ковальский В.В. Геохимическая среда и жизнь. М.: Наука, 1982. С. 63; Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Академия, 2003. С. 31.

⁷ Биогеохимические основы экологического нормирования / отв. ред. М.В. Иванов [и др.]. М.: Наука, 1993. 304 с.; Карпенко Л.В., Анискина А.А., Пермякова Г.В. Состояние растительности болот в зоне техногенного воздействия Норильского горно-металлургического комбината // *География и природные ресурсы*. 2012. № 1. С. 60.

⁸ Бахнов В.К. Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. С. 50–55.

⁹ Московченко Д.В., Валеева Э.И., Лаврентьев С.Ю. Геохимический мониторинг на территории природного парка «Нумто» // *Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения*. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2002. Вып. 3. С. 5; Московченко Д. Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири. С. 65; Московченко Д.В., Моисеева И.Н., Хозяинова Н.В. Элементный состав растений уренгойских тундр // *Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения*. 2012. № 12. С. 132.

¹⁰ Цыбукова Т.Н., Инишева Л.И., Тихонова О.К., Зейле Л.А., Юсубов М.С. Характеристика элементного состава торфяного сырья олиготрофного болота // *Химия растительного сырья*. 2000. № 4. С. 32; Белоусов М.В., Цыбукова Т.Н., Березовская Т.Н., Тихонова О.К. и др. Элементный состав багульника болотного // *Химия растительного сырья*. 2002. № 4. С. 38.

¹¹ Московченко Д. Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири. С. 65.

¹² Львов Ю.А. Методические материалы к типологии и классификации болот Томской области // *Типы болот СССР и принципы их классификации* Л.: Наука, 1974. С. 188–194.

¹³ Трифонова Л.И. Климат // *География Томской области* / под ред. А.А. Земцова. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1988. С. 42–76; Ромашова Т.В. Климат // *Ландшафты болот Томской области* / под ред. Н.С. Евсеевой. Томск: Изд-во науч.-техн. лит., 2012. С. 90.

высотами 80–150 м с преобладанием дерново-подзолисто-глеевых почв на озерно-аллювиальных песчаных отложениях. Количество осадков в год достигает 650 мм, среднегодовая температура составляет — 0,4 °С, сумма летних температур 1500 °С¹⁴. В данном районе исследования проводились на шести участках двух верховых болот, расположенных в долине реки Кеть (табл. 1).

Шегарский район неразвитых водораздельных низинных массивов — самый южный из рассматриваемых районов. От остальных он отличается тем, что расположен в зоне подтайги, на озерно-аллювиальной равнине с абсолютными отметками до 130 м с преобладанием серых лесных почв. Количество осадков в год составляет 616 мм, среднегодовая температура воздуха — 0,8 °С, сумма летних температур — 1725 °С¹⁵. Исследования в этом районе проводились на низинном болоте в бассейне реки Кинда (табл. 1).

Таблица 1

Описание участков

<i>Болотные районы</i> ¹⁶ (Львов, 1974)	<i>Координаты</i>	<i>Название, тип болота</i>	<i>Уровень болотных вод, м</i>	<i>Мощность торфяной залежи, м</i>
1	2	3	4	5
Иксинский	56°58'15,3" с. ш. 82°36'09,7" в. д.	Сосново-осоково-кустарничково-сфагновое верховое	-0,4	1,1
	56°58'24,3" с. ш. 82°36'41,2" в. д.	Сосново-кустарничково-сфагновое верховое	-0,3	2,9

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
	56°58'32,2" с. ш. 82°36'18,1" в. д.	Сосново-осоково-кустарничково-сфагновое верховое	-0,4	1
	56°58'17,3" с. ш. 82°37'04,5" в. д.	Осоково-шейхцериево-сфагновая верховая топь	-0,1	2,5
	56°58'50,4" с. ш. 82°36'56,2" в. д.	Грядово-мочажинное с сосново-кустарничково-сфагновыми грядами и шейхцериево-сфагновыми мочажинами верховое	-0,05	3
	56°55'30,1" с. ш. 82°30'41,1" в. д.	Березово-осоково-вахтовое низинное	-0,1	3,75
	56°55'18,0" с. ш. 82°30'30,5" в. д.	Кустарничково-болотнотравно-сфагновое переходное	-0,1	3,25
Шегарский	55°46'00,1" с. ш. 83°20'03,1" в. д.	Березово-ивово-хвощево-гипновое низинное	-0,3	1
Ингузетский	58°23'26" с. ш. 83°11'33,9" в. д.	Сосново-кустарничково-сфагновое верховое	-0,6	3,75
	58°23'24,3" с. ш. 83°11'34" в. д.	Сосново-кустарничково-сфагновое верховое	-0,3	4
	58°23'20,6" с. ш. 83°11'32,4" в. д.	Сосново-кустарничково-сфагновое верховое	-0,3	3,1
	58°29'16,7" с. ш. 83°11'30,0" в. д.	Сосново-кустарничково-сфагновое верховое	-0,3	3
	58°23'13,6" с. ш. 83°11'26,9" в. д.	Грядово-мочажинное с сосново-кустарничково-сфагновыми грядами и шейхцериево-сфагновыми мочажинами верховое	-0,2	3,2
	58°26'07,7" с. ш. 83°26'13,3" в. д.	Сосново-кустарничково-сфагновое верховое	-0,4	2

¹⁴ Трифонова Л. Климат. С. 42–76; Ромашова Т. Климат. С. 90.

¹⁵ Там же.

¹⁶ Львов Ю.А. Методические материалы к типологии и классификации болот Томской области. С. 188–194.

Объекты исследования удалены от всех видов загрязнений, единственным источником последних может служить лишь дальний атмосферный перенос. При выборе участков соблюдались условия удаленности от автодорог с загруженностью 4–6 автомобилей в час не менее чем на 200 м, от более загруженных автотрасс — не менее чем на 1 км, от промышленных объектов — не менее чем на 100 км.

Исследования проводились в июле с 2013 по 2015 год и включали ландшафтное описание участков, измерение уровня болотных вод от средней поверхности, определение мощности торфяной залежи, отбор проб растений-доминантов и субдоминантов каждого яруса для выявления содержания тяжелых металлов. У растений отдельно отбирались образцы надземной и подземной частей путем формирования средней пробы каждого вида растения на площадке 10×10 м. Всего было исследовано 14 участков в пределах 5 болот Томской области (табл.1), отобрано 113 образцов 25 видов растений.

Кроме того, на каждом участке отбирались пробы торфа, болотной воды и подстилающей породы. Сроки отбора проб определялись с учетом максимального накопления элементов растениями, как правило в первой половине лета, при дальнейшем незначительном изменении их концентраций к осени¹⁷. Содержание Zn, Cu, Cd и Pb определялось вольт-амперометрическим методом в аккредитованном лабораторно-аналитическом центре СибНИИСХиТ (аттестат аккредитации РОСС RU.0001.10ПФ01). Статистический анализ полученных данных и графическое отражение результатов проведено с использованием Statsoft Statistica for Windows 6.0. и Excel 7.0. Для оценки зависимости между переменными применялся коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Сравнение и значимость отличий между выборками устанавливалось при помощи непараметрического критерия Манна — Уитни. Влияние абиотических факторов на накопление тяжелых металлов растениями определялось при помощи метода главных компонент (PCA), по таким характеристикам, как уровень болотных вод, мощность торфяной залежи, содержание каждого элемента в растениях и торфе, таксономический состав растений. Различия между участками различных болотных районов показаны при помощи дискриминантного анализа.

Результаты исследования и обсуждение

Ранее проведенные оценочные исследования зафиксировали превышение фоновых значений содержания тяжелых металлов в растениях и верхних слоях торфа на болотах, подверженных антропогенному воздействию¹⁸. Полученные в ходе детальных исследований на участках, удаленных от источников загрязнения, средние значения концентраций Zn, Cu, Cd и Pb в растениях приведены в таблице 2.

Таблица 2

Среднее содержание тяжелых металлов в болотных растениях (n = 113)

Вид растения	Среднее содержание, мг/кг сухого веса			
	Zn	Cd	Pb	Cu
1	2	3	4	5
<i>Andromeda polifolia</i> L.	21,78	0,006	0,76	1,14
<i>Aulacomnium palustre</i> (Hedw.) Schwaegr.	57,42	< 0,005	4,38	0,70
<i>Betula fruticosa</i> Pallas (<i>B. humilis</i> Schank)	243,95	< 0,005	0,42	1,13
<i>Betula nana</i> L.	142,71	0,020	0,74	0,32
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	202,44	0,017	0,24	0,17

¹⁷ Brekken A., Steinnes E. Seasonal concentrations of cadmium and zinc in native pasture plants: consequences for grazing animals // Science of The Total Environment. 2004. URL: [doi:10.1016/j.scitotenv.2003.11.023](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.11.023); Ветчинникова Л.В., Кузнецова Т.Ю., Титов А.Ф. Особенности накопления тяжелых металлов в листьях древесных растений на урбанизированных территориях в условиях Севера // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2013. № 3. С. 72.

¹⁸ Гашкова Л.П., Иванова Е.С. Аккумуляция тяжелых металлов в растениях-доминантах антропогенно нарушенных участков болот на территории Томской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 1(3). С. 733.

<i>Carex rostrata</i> Stokes	81,46	< 0,005	0,82	1,01
<i>Chamaedaphne calyculata</i> (L.) Moench	23,16	0,021	0,64	0,64
<i>Comarum palustre</i> L.	106,02	0,054	0,50	0,41
<i>Equisetum fluviatile</i> L.	33,64	0,030	0,21	0,24
<i>Eriophorum vaginatum</i> L.	41,52	< 0,005	0,31	0,82
<i>Ledum palustre</i> L.	12,60	0,048	0,01	0,04
<i>Menyanthes trifoliata</i> L.	57,43	0,067	0,46	0,42
<i>Naumburgia thyrsoiflora</i> (L.) Rchb.	32,59	< 0,005	0,53	0,09
<i>Petasites frigidus</i> (L.) Fr.	41,82	0,007	1,10	0,53
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	132,40	< 0,005	0,51	0,24
<i>Pinus sibirica</i> Du Tour	30,66	< 0,005	0,68	1,20
<i>Pinus sylvestris</i> L.	38,16	0,022	0,64	0,88
<i>Rubus chamaemorus</i> L.	43,07	< 0,005	0,53	0,57
<i>Salix cinerea</i> L.	176,30	0,046	0,53	0,37
<i>Scheuchzeria palustris</i> L.	45,02	0,031	0,04	0,06
<i>Sphagnum fuscum</i> (Schimp.) Klinggr.	44,24	0,015	1,86	0,78
<i>Typha latifolia</i> L.	42,59	0,070	0,57	0,70
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	38,78	0,093	0,56	0,72
<i>M±m</i>	6,45	0,005	0,07	0,08
<i>Min-Max</i>	1,2–289	< 0,005–0,2	0,01–4,4	0,04–5,3

Анализ опубликованных данных и сравнение полученных результатов содержания тяжелых металлов в растениях с литературными данными по некоторым родам болотных растений Западной Сибири показал, что полученные нами средние значения находятся на уровне или ниже литературных, на изучаемых участках концентрация Zn, Cu, Cd и Pb соответствует фоновым значениям (рис. 1).

Низкие значения концентрации элементов в растениях исследованных болот свидетельствуют об отсутствии загрязнения на данной территории.

Естественные территории с низким атмосферным загрязнением характеризуются не только низким содержанием тяжелых металлов, но и взаимосвязанным поглощением микроэлементов¹⁹. При сравнении полученных результатов установлено, что между содержанием в растениях трех элементов — Pb, Cu и Zn — наблюдаются корреляции средней силы ($S = 0,6$ при $p < 0,005$).

При рассмотрении особенностей накопления тяжелых металлов растениями разных ярусов обнаружилось достоверные отличия (критерий Манна — Уитни) между древесным, травяно-кустарничковым и моховым ярусом ($U = 2,03$ при $p < 0,05$). Концентрация Zn максимальна в растениях древесного яруса. Наименьшее содержание этого элемента зафиксировано в *Ledum palustre*, а наиболее высокая его концентрация наблюдается у *Betula pubescens*, *Betula fruticosa*, *Salix cinerea*. Обнаружено, что в накоплении Zn имеет значение не только ярус, но и таксономическая принадлежность видов, в цветковых растениях Zn накапливается активнее, чем в голосеменных.

Анализ содержания Cu показал, что концентрация этого элемента достоверно не различается в растениях разных ярусов. Наименьшее содержание отмечено для видов *Naumburgia*

¹⁹ Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Академия, 2003. С. 31.

thyrsiflora, *Ledum palustre*, *Scheuchzeria palustris*, наибольшее — в *Pinus sibirica*, *Andromeda polifolia*, *Betula fruticosa*.

В результате рассмотрения распределения Cd по ярусам прослеживается тенденция увеличения концентрации этого элемента для видов травяно-кустарничкового яруса: *Vaccinium uliginosum*, *Typha latifolia*, *Menyanthes trifoliata*. Содержание Cd в болотных растениях на рассмотренных участках очень низкое и находится на границе предела обнаружения используемым методом.

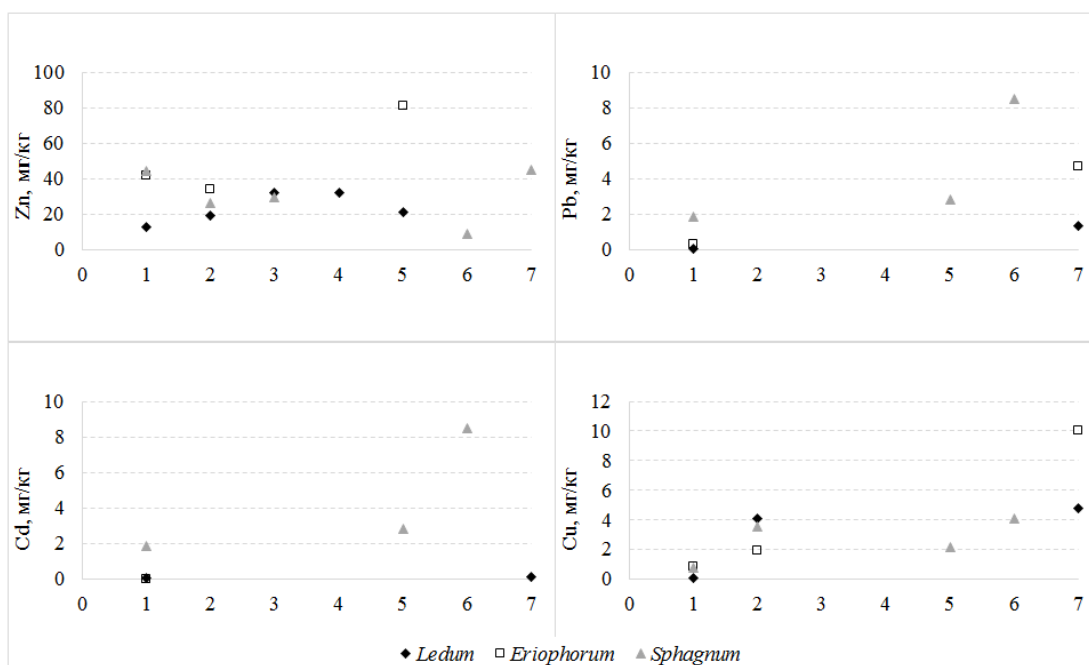


Рис. 1. Содержание тяжелых металлов в болотных растениях по данным разных авторов:

1 — наши данные; 2 — Бахнов²⁰; 3 — Цыбукова и др.²¹; 4 — Белоусов и др.²²; 5 — Московченко²³; 6 — Московченко²⁴; 7 — Московченко и др.²⁵.

На основе изучения концентрации Pb в растениях разных ярусов установлено, что на всех исследованных участках максимальное количество Pb накапливается в моховом ярусе, у видов *Aulacomnium palustre* и *Sphagnum fuscum*. В растениях других ярусов содержание Pb одинаково низкое (рис. 2).

Результаты, полученные на основе анализа содержания Pb в растениях разных ярусов, позволяют предположить, что накопление этого элемента во мхах связано с отсутствием у мохообразных корневой системы и барьерных тканей, ограничивающих транспорт Pb²⁶. Данное предположение было проверено при сравнении концентрации элементов в надземной и подземной частях сосудистых растений. В результате такого сравнения обнаружилось значимое увеличение содержания Pb ($U = 2,07$ при $p < 0,05$) и Cu ($U = 3,7$ при $p < 0,0005$) в подземной части по сравнению с надземной (рис. 3). Различий в содержании Zn не отмечено, в то время как Cd интенсивнее накапливается в надземной части.

²⁰ Бахнов В. Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса. С. 50–55.

²¹ Цыбукова Т. Характеристика элементного состава торфяного сырья олиготрофного болота. С. 32.

²² Белоусов М. Элементный состав багульника болотного. С. 38.

²³ Московченко Д.В., Валева Э.И., Лаврентьев С.Ю. Геохимический мониторинг на территории природного парка «Нумто». С. 5.

²⁴ Московченко Д.В. Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири. С. 65.

²⁵ Московченко Д.В. Элементный состав растений уренгойских тундр. С. 132.

²⁶ Ковалевский А.Л. Биогеохимия растений. Новосибирск: Наука, 1991. С. 17.

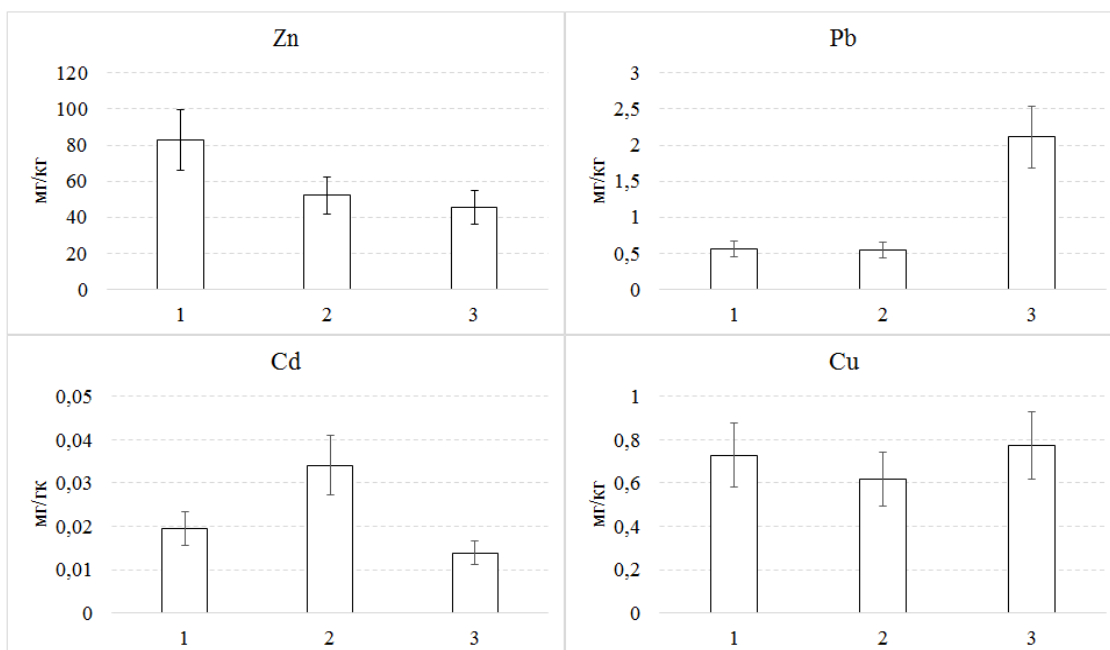


Рис. 2. Содержание тяжелых металлов в растениях разных ярусов:
1 — древесный ярус; 2 — травяно-кустарничковый ярус; 3 — моховой ярус.

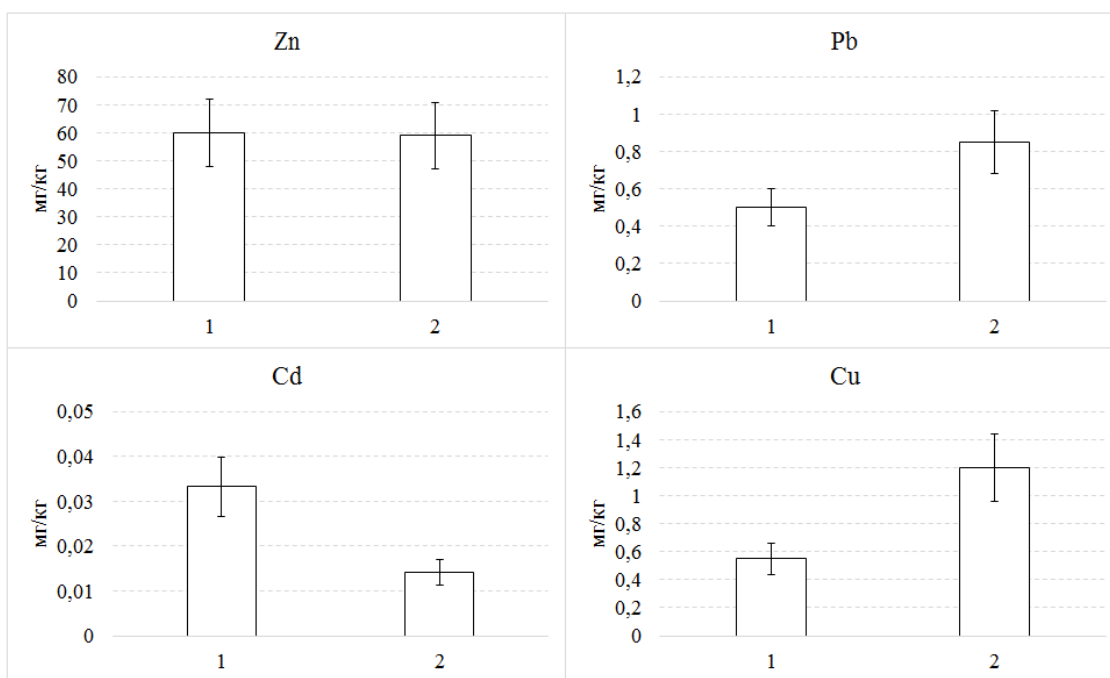


Рис. 3. Сравнение содержания элементов
в подземной и надземной частях растений (U тест)

1 — надземная часть, 2 — подземная часть

Помимо содержания элементов в различных видах и частях растений, рассмотрены особенности каждого исследованного участка по таким критериям, как концентрация тяжелых металлов в торфе, уровень болотных вод, мощность торфяной залежи, таксономический состав растений. Выполненный на основе этих критериев факторный анализ с применением метода главных компонент показал, что на ординационной диаграмме в системе первых двух факторов корреляции выстраиваются в три основных вектора, которые отражают геохимические особенности болотных районов (рис. 4).

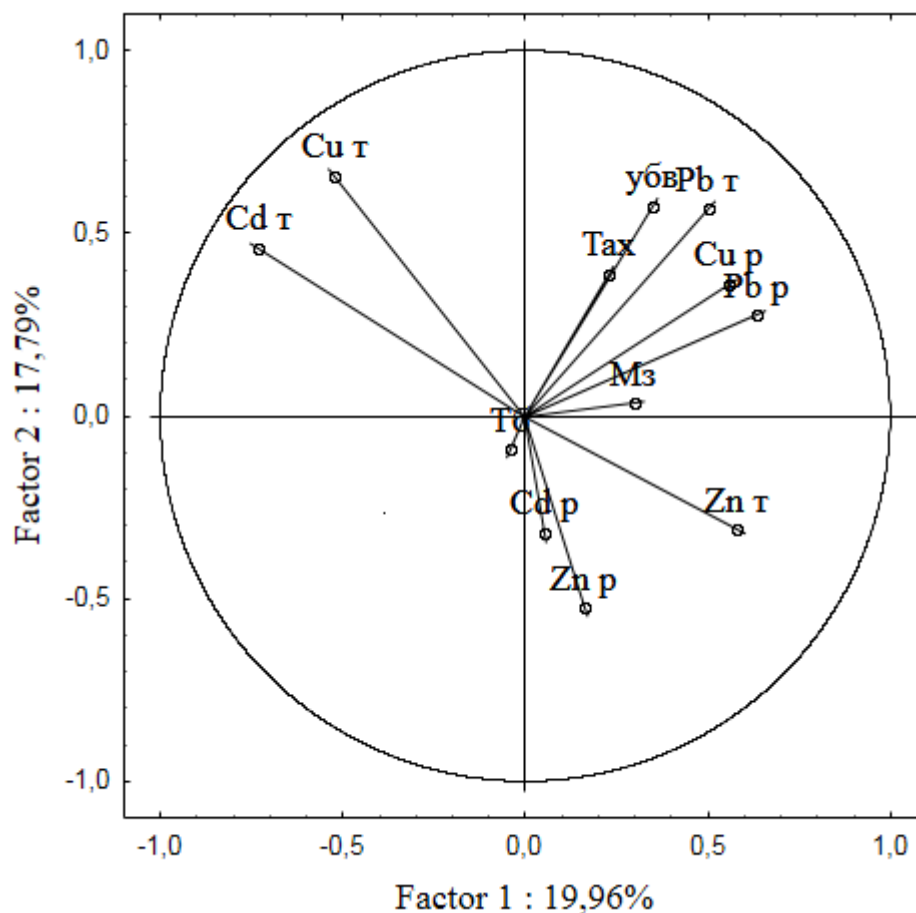


Рис. 4. Ординационная диаграмма сопряженности болотных районов в пространстве первых двух факторов

Переменные, формирующие факторы Zn p, Cu p, Pb p, Cd p — концентрации элементов в растениях; Zn t, Cu t, Pb t, Cd t — концентрации элементов в торфе; УБВ — уровень болотных вод; Mз — мощность торфяной залежи; Tb — тип болота; Tax — видовой состав растений.

Первый вектор отражает взаимосвязь накопления Cd и Cu в торфе, которая наиболее выражена в Ингузетском болотном районе. Второй включает большинство рассмотренных переменных и иллюстрирует влияние таксономического положения растений и мощности торфяной залежи на накопление Cu и Pb. Кроме того, во втором векторе отражается корреляция уровня болотных вод с концентрацией Cu в растениях и Pb в растениях и торфе. Выявленные в данном секторе диаграммы взаимосвязи наиболее явно проявляются в Шегарском болотном районе. Третий вектор показывает, что накопление Zn и Cd в болотных растениях и торфе связано с типом болота и сильнее проявляется в Шегарском и Иксинском болотных районах.

Геохимические особенности различных участков проиллюстрированы при помощи дискриминантного анализа в проекции наибольшей дисперсии между болотными районами (рис. 5).

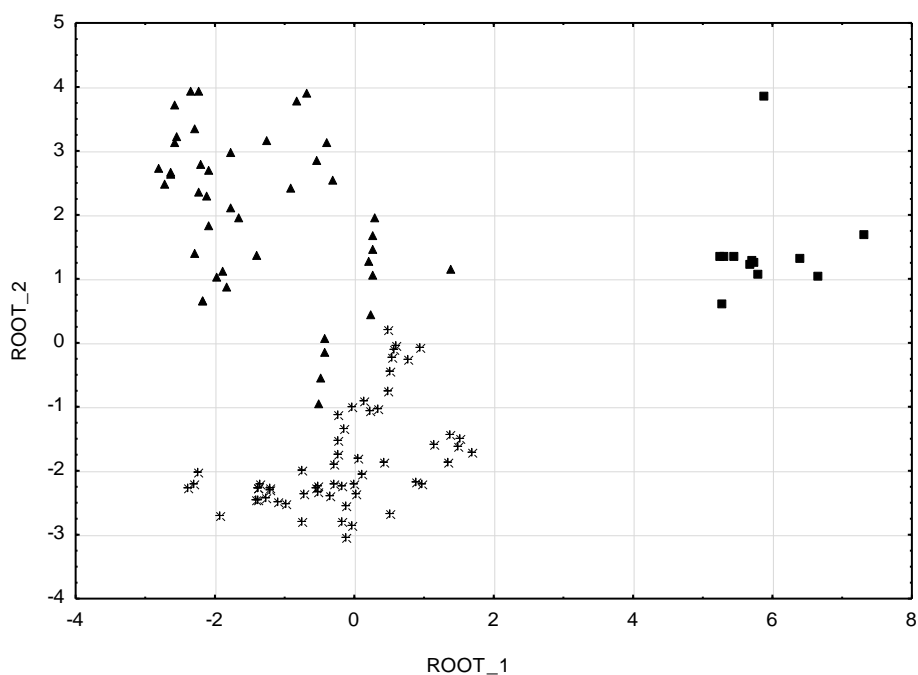


Рис. 5. Результат дискриминантного анализа первого и второго факторов, отражающий отличия между разными болотными районами в пространстве первой (Root 1) и второй (Root 2) дискриминантных функций

Треугольники — Ингузетский болотный район; звездочки — Иксинский болотный район; квадраты — Шегарский болотный район.

Участок в Шегарском болотном районе по рассмотренным характеристикам показал наибольшее отличие от остальных районов, что отражает расположение этого участка как самого южного в зоне подтайги. Иксинский и Ингузетский районы также показали различия и отделились, их сближение наблюдается только на топяных участках, которые оказались очень близкими по всем рассматриваемым показателям.

В результате проведенных исследований можно сделать выводы, что содержание тяжелых металлов в растениях с изученных участков находится в пределах и ниже фоновых концентраций для исследуемого региона, а концентрации Pb, Cu и Zn в растениях коррелируют между собой, поэтому данные участки можно считать фоновыми. При рассмотрении вертикальной дифференциации элементов по ярусам выяснилось, что в древесных растениях зафиксировано наибольшее содержание Zn, во мхах накапливается Pb, в растениях травяно-кустарничкового яруса активнее накапливается Cd. В подземных частях растений содержится больше Cu и Pb, чем в надземных. На накопление тяжелых металлов растениями болот оказывают влияние такие факторы, как таксономическое положение, уровень болотных вод, содержание элементов в торфе и мощность торфяной залежи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ЭЛЕКТРОННЫХ РЕСУРСОВ

1. Бахнов, В.К. Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса [Текст] : моногр. — Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1986. — 93 с.
2. Белоусов, М.В. Элементный состав багульника болотного [Текст] / М.В. Белоусов [и др.] // Химия растительного сырья. — 2002. — № 4. — С. 35–38.
3. Биогеохимические основы экологического нормирования [Текст] / под ред. В.Н. Башкина, Е.В. Евстафьевой, В.В. Снакина. — М. : Наука, 1993. — 304 с.
4. Ветчинникова, Л.В. Особенности накопления тяжелых металлов в листьях древесных растений на урбанизированных территориях в условиях Севера [Текст] / Л.В. Ветчинникова, Т.Ю. Кузнецова, А.Ф. Титов // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. — 2013. — № 3. — С. 68–73.

5. Гашкова, Л.П. Аккумуляция тяжелых металлов в растениях-доминантах антропогенно нарушенных участков болот на территории Томской области [Текст] / Л.П. Гашкова, Е.С. Иванова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2014. — Т. 16, № 1(3). — С. 732–735.
6. Глазовская, М.А. Биогеохимическая организованность экологического пространства в природных и антропогенных ландшафтах как критерий их устойчивости [Текст] // Известия Российской академии наук. Серия географическая. — 1992. — № 5. — С. 5–12.
7. Добровольский, В.В. Основы биогеохимии [Текст] : учеб. -метод. пособие. — М. : Академия, 2003. — 400 с.
8. Карпенко, Л.В. Состояние растительности болот в зоне техногенного воздействия Норильского горно-металлургического комбината [Текст] / Л.В. Карпенко, А.А. Анискина, Г.В. Пермякова // География и природные ресурсы. — 2012. — № 1. — С. 56–62.
9. Ковалевский, А.Л. Биогеохимия растений [Текст] : моногр. — Новосибирск : Наука, 1991. — 294 с.
10. Ковальский, В.В. Геохимическая среда и жизнь [Текст] : моногр. — М. : Наука, 1982. — 76 с.
11. Львов, Ю.А. Методические материалы к типологии и классификации болот Томской области [Текст] // Типы болот СССР и принципы их классификации. — Л. : Наука, 1974. — С. 188–194.
12. Московченко, Д.В. Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири [Текст] // География и природные ресурсы. — 2006. — № 1. — С. 63–70.
13. Московченко, Д.В. Геохимический мониторинг на территории природного парка «Нумто» [Текст] / Д.В. Московченко, Э.И. Валева, С.Ю. Лаврентьев // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. — 2002. — № 3. — С. 3–10.
14. Московченко, Д.В. Элементный состав растений уренгойских тундр [Текст] / Д.В. Московченко, И.Н. Моисеева, Н.В. Хозяинова // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. — 2012. — № 12. — С. 130–136.
15. Ромашова, Т.В. Климат [Текст] // Ландшафты болот Томской области / под ред. Н.С. Евсеевой. — Томск : Изд-во науч.-техн. лит., 2012. — 399 с.
16. Трифонова, Л.И. Климат [Текст] // География Томской области / под ред. А.А. Земцова. — Томск : Изд-во Том. ун-та, 1988. — С. 42–76.
17. Цыбукова, Т.Н. Характеристика элементного состава торфяного сырья олиготрофного болота [Текст] / Т.Н. Цыбукова [и др.] // Химия растительного сырья. — 2000. — № 4. — С. 29–34.
18. Aulio, K. Nutrient accumulation in *Sphagnum* mosses. II. Intra- and interspecific variation in four species from an ombrotrophic raised bog [Text] // *Ann Bot Fenn.* — 1982. — Vol. 19. — P. 93–101.
19. Brekken, A. Seasonal concentrations of cadmium and zinc in native pasture plants: consequences for grazing animals [Electronic resource] / A. Brekken, E. Steinnes // *Science of The Total Environment.* — 2004. — Mode of access : [doi:10.1016/j.scitotenv.2003.11.023](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.11.023)
20. Glooschenko, W.A. Atmospheric deposition of arsenic and selenium across Canada using *Sphagnum* moss as a biomonitor [Text] / W.A. Glooschenko, N. Arafat // *Sci. Tot. Environ.* — 1988. — Vol. 73(3). — P. 269–275.
21. Kolon, K. *Brachythecium rutabulum* and *Betula pendula* as bioindicators of heavy metal pollution around a chlor-alkali plant in Poland [Electronic resource] / K. Kolon [et al.] // *Ecological Indicators.* — 2015. — Mode of access : [doi:10.1016/j.ecolind.2014.12.031](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.12.031)
22. Koz, B. Lead adsorption capacity of some moss species used for heavy metal analysis [Electronic resource] / B. Koz, U. Cevik // *Ecological Indicators.* — 2014. — Mode of access : [doi:10.1016/j.ecolind.2013.08.018](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.08.018)
23. Malawska, M. Chemical characteristics of some peatlands in southern Poland [Electronic resource] / M. Malawska, A. Ekonomiuk, B. Wiłkomirski // *Mires and Peat.* — 2006. — Vol. 1. — Art. 2. — Mode of access : <http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map01/map0102.php> (date of access : 18.02.2015).
24. Wojtuń, B. *Andromeda polifolia* and *Oxycoccus microcarpus* as pollution indicators for ombrotrophic bogs in the Western Sudety Mountains (SW Poland) [Electronic resource] / B. Wojtuń [et al.] // *Journal of Environmental Science and Health.* — 2013. — Mode of access : [doi:10.1080/10934529.2013.744578](https://doi.org/10.1080/10934529.2013.744578)

REFERENCES

1. Bahnov, V.K. *Biogeohimicheskie aspekty bolotoobrazovatel'nogo processa* [Text] : monogr. — Novosibirsk : Nauka. Sib. otd-nie, 1986. — 93 s.
2. Belousov, M.V. *Ehlementnyj sostav bagul'nika bolotnogo* [Text] / M.V. Belousov [i dr.] // *Himiya rastitel'nogo syr'ya.* — 2002. — N 4. — S. 35–38
3. *Biogeohimicheskie osnovy ehkologicheskogo normirovaniya* [Text] / pod red. V.N. Bashkina, E.V. Evstaf'evoj, V.V. Snakina. — M. : Nauka, 1993. — 304 s.

4. Vetchinnikova, L.V. Osobennosti nakopleniya tyazhelyh metallov v list'yah drevesnyh rastenij na urbanizirovannyh territoriyah v usloviyah Severa [Text] / L.V. Vetchinnikova, T.Yu. Kuznecova, A.F. Titov // Trudy Karel'skogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. — 2013. — N 3. — S. 68–73.
5. Gashkova, L.P. Akkumulyaciya tyazhyolyh metallov v rasteniyah-dominantah antropogenno narushennyh uchastkov bolot na territorii Tomskoj oblasti [Text] / L.P. Gashkova, E.C. Ivanova // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. — 2014. — T. 16, N 1(3). — S. 732–735.
6. Glazovskaya, M.A. Biogeohimicheskaya organizovannost' ehkologicheskogo prostranstva v prirodnyh i antropogennyh landshaftah kak kriterij ih ustojchivosti [Text] // Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya. — 1992. — N 5. — S. 5–12.
7. Dobrovolskij, V.V. Osnovy biogeohimii. [Text] : ucheb.-metod. posobie. — M. : Akademiya, 2003. — 400 s.
8. Karpenko, L.V. Sostoyanie rastitel'nosti bolot v zone tekhnogenogo vozdejstviya Noril'skogo gornometallurgicheskogo kombinata [Text] / L.V. Karpenko, A.A. Aniskina, G.V. Permyakova // Geografiya i prirodnye resursy. — 2012. — N 1. — S. 56–62.
9. Kovalevskij, A.L. Biogeohimiya rastenij [Text] : monogr. — Novosibirsk : Nauka, 1991. — 294 s.
10. Koval'skij, V.V. Geohimicheskaya sreda i zhizn' [Text] : monogr. — M. : Nauka, 1982. — 76 s.
11. L'vov, Yu.A. Metodicheskie materialy k tipologii i klassifikacii bolot Tomskoj oblasti [Text] // Tipy bolot SSSR i principy ih klassifikacii. — L. : Nauka, 1974. — S. 188–194.
12. Moskovchenko, D.V. Biogeohimicheskie osobennosti verhovyh bolot Zapadnoj Sibiri [Text] // Geografiya i prirodnye resursy. — 2006. — № 1. — S. 63–70.
13. Moskovchenko, D.V. Geohimicheskij monitoring na territorii prirodnogo parka «Numto» [Text] / D.V. Moskovchenko, Eh.I. Valeeva, S.Yu. Lavrent'ev // Vestnik ehkologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya. — 2002. — N 3. — S. 3–10.
14. Moskovchenko, D.V. Ehlementnyj sostav rastenij urengojskikh tundr [Text] / D.V. Moskovchenko, I.N. Moiseeva, N.V. Hozyainova // Vestnik ehkologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya. — 2012. — N 12. — S. 130–136.
15. Romashova, T.V. Klimat [Text] // Landshafty bolot Tomskoj oblasti / pod red. N.S. Ev-seevoj. — Tomsk : Izd-vo nauch.-tekhn. lit., 2012. — 399 s.
16. Trifonova, L.I. Klimat [Text] // Geografiya Tomskoj oblasti / pod red. A.A. Zemcova. — Tomsk : Izd-vo Tom. un-ta, 1988. — S. 42–76.
17. Cybukova, T.N. Harakteristika ehlementnogo sostava torfyanogo syr'ya oligotrofnogo bolota [Text] / T.N. Cybukova [i dr.] // Himiya rastitel'nogo syr'ya. — 2000. — N 4. — S. 29–34.
18. Aulio, K. Nutrient accumulation in Sphagnum mosses. II. Intra- and interspecific variation in four species from an ombrotrophic raised bog [Text] // Ann Bot Fenn. — 1982. — Vol. 19. — P. 93–101.
19. Brekken, A. Seasonal concentrations of cadmium and zinc in native pasture plants: consequences for grazing animals [Electronic resource] / A. Brekken, E. Steinnes // Science of The Total Environment. — 2004. — Mode of access : [doi:10.1016/j.scitotenv.2003.11.023](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.11.023)
20. Glooschenko, W.A. Atmospheric deposition of arsenic and selenium across Canada using Sphagnum moss as a biomonitor [Text] / W.A. Glooschenko, N. Arafat // Sci. Tot. Environ. — 1988. — Vol. 73(3). — P. 269–275.
21. Kolon, K. Brachythecium rutabulum and Betula pendula as bioindicators of heavy metal pollution around a chlor-alkali plant in Poland [Electronic resource] / K. Kolon [et al.] // Ecological Indicators. — 2015. — Mode of access : [doi:10.1016/j.ecolind.2014.12.031](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.12.031)
22. Koz, B. Lead adsorption capacity of some moss species used for heavy metal analysis [Electronic resource] / B. Koz, U. Cevik // Ecological Indicators. — 2014. — Mode of access : [doi:10.1016/j.ecolind.2013.08.018](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.08.018)
23. Malawska, M. Chemical characteristics of some peatlands in southern Poland [Electronic resource] / M. Malawska, A. Ekonomiuk, B. Wilkomirski // Mires and Peat. — 2006. — Vol. 1. — Art. 2. — Mode of access : <http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map01/map0102.php> (accessed on: 18.02.2015).
24. Wojtuń, B. Andromeda polifolia and Oxycoccus microcarpus as pollution indicators for ombrotrophic bogs in the Western Sudety Mountains (SW Poland) [Electronic resource] / B. Wojtuń [et al.] // Journal of Environmental Science and Health. — 2013. — Mode of access : [doi:10.1080/10934529.2013.744578](https://doi.org/10.1080/10934529.2013.744578)

L.P. Gashkova

**THE PECULIARITIES OF HEAVY METAL ACCUMULATION IN WETLAND
PLANTS OF THE SOUTH-EAST OF WESTERN SIBERIA**

The paper deals with an urgent issue of establishing background concentrations of heavy metals in plants. The paper treats the concentrations of lead, copper, cadmium and zinc (Pb, Cu, Cd and Zn) in different wetland plant species in undisturbed swamps of the Tomsk Region (Bakcharsky District, Kolpashevsky District, Kozhevnikovskiy District). The paper maintains that heavy metal concentrations in the upper swamps do not exceed the maximum permissible levels of heavy metal concentration in the region. The paper analyzes vertical differentiation of Pb, Cu, Cd and Zn concentrations in upper parts and lower parts of plants, in tissues of wood, plant, moss, grass, etc. The paper maintains that different groups of plants accumulate heavy metals at different rates. Woody plants accumulate Zn extensively, mosses accumulate Pb. The lower parts of plants accumulate more Cu and Pb than their upper parts. The paper analyzes geochemical characteristics of various districts and maintains that geochemical characteristics are predetermined by prevailing plant species, marshy water levels, heavy metal concentrations in turf, turf resources.

biogene accumulation, cadmium, copper, lead, background levels. Zinc, vegetation levels.