

УДК 550.47

**СВИНЕЦ В СИСТЕМЕ ПОЧВА – РАСТЕНИЕ В ЛАНДШАФТЕ
ШЕРЛОВОГОРСКОГО ГОРНОРУДНОГО РАЙОНА НА ПРИМЕРЕ
POLYGONUM ANGUSTIFOLIUM PALLAS (POLYGONACEAE)****Горбань Д.Н., Юргенсон Г.А.***ФГБУ «Институт природных ресурсов, экологии и криологии» СО РАН,
Чита, e-mail: inrec.sbras@mail.ru*

Изучено содержание свинца в почвах и технозомах различных участков Шерловгорского горнорудного района, а также в органах произрастающего здесь *Polygonum angustifolium*. Определено, что среднее содержание свинца в почвах составляет 171,9 мг/кг и технозомах 97,2 (максимум 950,5 мг/кг). Распределение свинца по участкам рудного района крайне неравномерно и зависит от особенностей их геологического строения. Максимальные его концентрации типичны для технозёмов хвостохранилища. Выявлено, что накопление свинца происходит корневым путем. Наибольшее его содержание (до 0,16 мг/кг) обнаружено в корнях и листьях *Polygonum angustifolium*, наименьшее – в цветках (< 0,01 мг/кг). Рассчитан коэффициент биологического поглощения растения и установлено, что он максимален для корней и листьев и минимален для стеблей и цветков. Выявлено отсутствие зависимости содержания свинца в растениях от его содержания в почвах и технозомах.

Ключевые слова: свинец, почва, *Polygonum angustifolium*, ландшафты, коэффициент биологического поглощения, накопление, органы растения

**LEAD IN SYSTEM THE SOIL – PLANT IN THE LANDSCAPE
OF THE SHERLOVOGORSKY MINING AREA ON THE EXAMPLE
OF POLYGONUM ANGUSTIFOLIUM PALLAS (POLYGONACEAE)****Gorban D.N., Yurgenson G.A.***Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, e-mail: inrec.sbras@mail.ru*

Content of lead in soils and the tehnosoils of various sites of the Sherlovogorsky mining area, and also in bodies growing here *Polygonum angustifolium* is studied. It is determined that the average content of lead in soils constitutes 171,9 mg/kg and the tehnosoils 97,2 (at most 950,5 mg/kg). Distribution of lead on sites of the ore area extremely unevenly also depends on features of their geological structure. Its maximum concentration are typical for tailings dam tehnosoils. It is revealed that accumulating of lead happens in the root way. Its greatest content (to 0,16 mg/kg) is revealed in roots and leaves of *Polygonum angustifolium*, the smallest – in flowers (< 0,01 mg/kg). The coefficient of biological absorption of a plant is calculated and it is established that it is maximum for roots and leaves and is minimum for stalks and flowers. Lack of dependence of content of lead in plants from its content in soils and the tehnosoils is revealed.

Keywords: lead, soil, *Polygonum angustifolium*, landscapes, coefficient of biological absorption, accumulation, the organs of the plant

Горнорудная промышленность является одним из наиболее мощных факторов антропогенного преобразования окружающей среды. Существенную негативную роль играют отходы горного производства, в которых минералы – носители токсичных элементов находятся в измельченном состоянии, обладают значительно большей поверхностью и становятся объектом агрессивной деятельности воды, воздуха, углекислоты, микроорганизмов [2]. Эти агенты атмосферы и гидросферы являются главными факторами перевода химических элементов, строящих минералы, в подвижное состояние, и они становятся источниками загрязнения окружающей среды. К одним из наиболее токсичных для живых организмов химических элементов относится свинец. Свинец относится к самым высокотоксичным элементам (1-й класс опасности).

Он фиксируется как обычный компонент при анализе различных животных и растений. Повышенные содержания сказываются на морфологии растений. Установлено, что в малых дозах он обладает стимулирующим действием, а в больших нарушает обычную морфологию, оказывая токсичное воздействие [6]. Биологический эффект зависит не только от дозы, но и от формы, в которой находится свинец, и проявляется у различных видов растений по-разному. Свинец, как и большинство химических элементов, принимает участие в биогеохимических процессах, поэтому увеличение его содержания в почвах приводит к закономерному увеличению в тканях растений [8]. Концентрация этого металла в древесных растениях в пределах природных геохимических аномалий убывает в ряду: корни > листья > стебли > плоды [11].



Рис. 1. Местоположение Шерловгорского ГОКа

Установлено, что в настоящее время содержание этого металла в почвах горнопромышленных районов значительно превышает его фоновые концентрации. В этой связи изучение содержания свинца и его соединений в различных компонентах ландшафта Шерловгорского горнорудного района (рис. 1) представляет собой весьма актуальную задачу.

Он находится на юго-востоке Забайкалья и представляет собой типичный природно-техногенный ландшафт, в состав которого входит карьер, хвостохранилище, отвалы бедных и забалансовых руд, а также группа олово-полиметаллических и редкометалльных месторождений, разрабатывавшихся Шерловгорским ГОКом, деятельность которого прекращена в 1993 г. Техногенные массивы, которые явились следствием работы комбината, постепенно начали зарастать пионерными растениями [4], одним из которых является таран (горец) узколистый. Для этого растения первые сведения о накоплении им висмута авторами были выполнены ранее [5]. Установлено, что висмут накапливается тараном (горцем) узколистым неодинаково. При этом выявлено, что коэффициент биологического поглощения свинца для других растений в основном не зависит от его валового содержания в почвах [9; 3]. Данные по накоплению свинца в *Polygonum angustifolium* Pallas в литературных источниках отсутствуют.

Целью исследования определено изучение закономерностей транслокации свинца в системе «почва – растение» на примере *P. angustifolium* в степном ландшафте Шерловгорского горнорудного района.

Материалы и методы исследования

Отбор проб органов исследуемого вида проводили согласно стандартной методике. На каждом

участке наблюдения проводили по точкам, хорошо изученным в геологическом отношении, где отбирали объединенные пробы доминантных видов растений из каждого яруса, которые встречаются на всех участках. Растения делили на органы. Корни и наиболее запыленные части растений промывали сначала струей проточной воды, а затем дистиллированной, и высушивали до воздушно-сухого состояния.

Всего отобрано 120 проб почв и техноземов на исследуемых участках и 167 индивидов *P. angustifolium*, отобранных на участках (рис. 2): фоновый участок (Т.1), Поднебесных (Т. 2), Жила Новая ((Т. 3) верхний горизонт), Жила Новая ((Т. 4) нижний горизонт), Обвинская (Т. 5), Пятисотка (Т. 6), сопка Лукаво – Золотая (Т. 7), Карьер (Т. 8), хвостохранилище (Т. 9), Северный отвал (Т. 10), Сопка Мелехинская (Т. 11). Химический анализ растений произвели методом ICP-MS на спектрофотометре ICP-MS Elan 9000 PerkinElmer (США) методом кислотного разложения ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98, Стандартный образец: Тр-1 (ГСО № 8922-2007), в Хабаровском инновационно-аналитическом центре Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, аналитики А.В. Штарева, В.Е. Зазулина, Л.С. Бокоренко, А.Ю. Лушникова, Д.В. Авдеев, Е.М. Голубева. Нижний порог определения (НПО) для свинца ~0,01 мкг/кг. Отбор почвенных проб проводили в соответствии с ГОСТ 17.4.4. 02-84, по искусственным обнажениям. Анализ почв и техноземов произвели методом РФА (НПО для свинца 0,001 %) в ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) на спектрометре VRA-30, аналитики к.т.н. Б.Ж. Жалсараев, Ж.Ш. Ричинова.

Результаты исследования и их обсуждение

Статистические характеристики содержания свинца в почвах Шерловгорского горнорудного района для выборки $n = 25$ следующие: $x = 171,9 \pm 10,95$ мг/кг; $\sigma = 109,4$; $\sigma/x = 0,63$; $x/\text{кларк} = 17,19$; $x/\text{ПДК} = 5,73$. В техноземах для выборки $n = 25$ следующие: $x = 97,2 \pm 6,12$ мг/кг; $\sigma = 194,4$; $\sigma/x = 2$. Эти данные показывают, что содержание свинца в почве Шерловгорского горнорудного района значительно превышает его кларк, равный 16 мг/кг,

в 17,19 раз, что дает основание предполагать заражение им *P. angustifolium* в рассматриваемых ландшафтах. Превышение ПДК для свинца в исследуемом виде составляет 5,73 раз.

Достаточно высокое содержание свинца в почвах на участках отбора проб неравномерное и имеет три максимума (рис. 3): на участках Хвостохранилище (950,5 мг/кг), Карьер (930 мг/кг) и Поднебесных (540 мг/кг), что превышает значения на остальных участках более чем в 2 раза. На фоновом участке содержание свинца минимальное и составляет 17 мг/кг. В целом максимальное среднее

содержание свинца в почвах достигает 950,5 мг/кг, что кратно превышает кларк Земной коры (16 мг/кг [1]). В России ПДК свинца в почве в соответствии с ГН 2.1.7.2041–06 составляет 32 мг/кг.

Свинец в *P. angustifolium*. Анализ литературы показал, что распределение свинца в растениях изучено слабо. Тем не менее Бройер и др. [12; 6] установили, что в природных условиях Pb присутствует во всех растениях и необходим для них, но выявить какую-либо особую его роль в метаболизме не удалось. Более того, они установили, что его концентраций на уровне 2–6 мкг/кг должно быть уже достаточно.



Рис. 2. Схема опробования:
 1 – фоновый участок; 2 – Шерловогорское месторождение;
 3 – геотехногенные массивы Шерловогорского месторождения

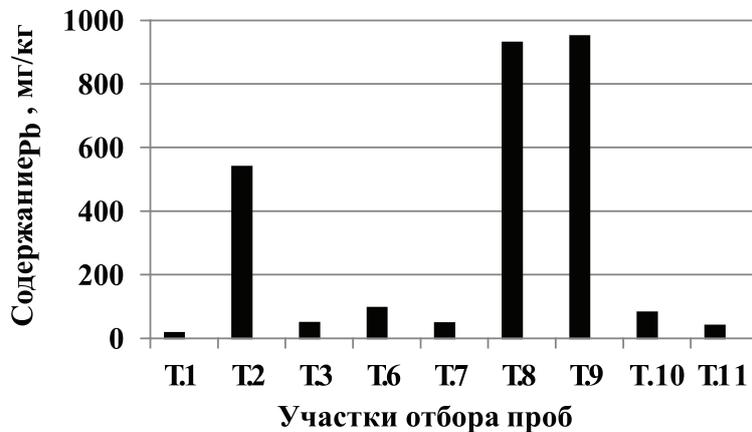


Рис. 3. Среднее содержание свинца в почвах и техноземах (Т. 9)

Естественные уровни содержания свинца в растениях из незагрязненных и безрудных областей, по-видимому, довольно постоянны и лежат в пределах 0,1–10,0 мг/кг сухой массы (среднее 2 мг/кг) [13]. Содержание свинца в съедобных частях растений, произрастающих в незагрязненных областях, по данным разных авторов, опубликованным в 1970–1980 годах, составляют 0,00–0,08 мг/кг влажной массы, 0,05–3,0 мг/кг сухой массы и 2,7–94,0 мг/кг золы [6]. Пределы варьирования содержания свинца в степной растительности Забайкалья Pb 0,59–2,70 [8]. Токсичная концентрация в листьях 30–300 [6].

Выявлено, что среднее содержание свинца в органах *P. angustifolium* максимально на участках Поднебесных и Карьер, где установлена зависимость его содержания в растениях от содержания в почве. Накопление свинца в органах *P. angustifolium* максимально в корнях и листьях (рис. 4). Выявлено, что содержание свинца в почвах и технозомах (Поднебесных, 540 мг/кг; Карьер, 930 мг/кг и Хвостохранилище, 950,5 мг/кг) возрастает, а в растениях (22,5;

21 и 6) уменьшается, что указывает на отсутствие прямой связи между его содержанием в системе почва – растение.

Для характеристики избирательного поглощения химических элементов растениями рассчитан коэффициент биологического поглощения (КБП), представляющий собой частное от деления содержания химического элемента в растении на его содержание в почве [7]. Он дает возможность оценки интенсивности поглощения и меры «биофильности» химических элементов. КБП свинца для *P. angustifolium* варьирует достаточно широко. Он максимален в корнях (0,20 мг/кг) на участке сопка Мелехинская, где содержание свинца в почве невелико (40 мг/кг). Это может быть обусловлено тем, что даже при низком содержании элемента в почве растение способно к его концентрированию и удержанию. В целом наблюдаются неравномерные содержания свинца в *P. angustifolium* (таблица). Это может быть связано с типом минерализации на разных участках отбора проб, который определяет валовые содержания элементов в почве [10; 14].

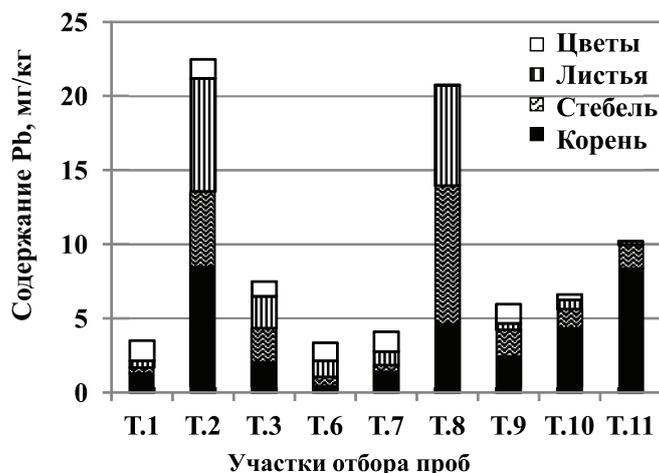


Рис. 4. Среднее содержание свинца в органах *P. angustifolium* на участках отбора проб

Коэффициент биологического поглощения свинца *P. angustifolium*

Участки	Корень	Стебель	Листья	Цветы
Т. 1. Фоновый участок	0,07	0,02	0,02	0,08
Т. 2. Поднебесных	0,01	0,009	0,01	0,002
Т. 3. Жила Новая	0,04	0,04	0,04	0,02
Т. 6. Пятисотка	0,004	0,006	0,01	0,01
Т. 7. Сопка Лукавая	0,02	0,009	0,01	0,02
Т. 8. Карьер	0,004	0,01	0,07	< 0,01
Т. 9. Хвостохранилище	0,002	0,001	0,01	0,001
Т. 10. Северный отвал	0,05	0,01	0,007	0,004
Т. 11. Сопка Мелехинская	0,20	0,03	0,005	< 0,01

Приведенные в таблице данные свидетельствуют о том, что КБП свинца *P. angustifolium* незначителен. Здесь максимальный КБП характерен для корней и листьев. Поглощение свинца цветками-плодами и стеблями горца узколистного незначительное.

Преимущественный захват свинца в корнях происходит на сопке Мелехинская (0,20), а в листьях – на участке Карьер (0,07). На фоновом участке значителен коэффициент биологического поглощения свинца *P. angustifolium* для цветков (0,08), что может свидетельствовать о наличии в природном почвенном покрове его подвижных форм. Захват свинца цветками *P. angustifolium* на остальных участках отбора проб не выявлен, что может свидетельствовать о неких защитных системах растений.

Выводы

1. Первые данные о поведении свинца в системе: почва – *P. angustifolium* свидетельствует о том, что бытующие представления об экологической опасности для биоты повышенных концентраций тяжелых элементов в антропогенных ландшафтах требуют дополнительных исследований для получения истинной информации. Поэтому для оценки влияния контрастно высоких содержаний свинца в почвах на заражение им растений рекомендовано изучение форм их нахождения в почвах и технозомах антропогенных ландшафтов [10; 14].

2. Интенсивность биологического поглощения свинца не зависит от их валового содержания в почве.

3. Избирательное поглощение свинца отдельными органами *P. angustifolium* может указывать на наличие у вида барьерных механизмов. Вероятно, свинец легко усваиваются корневой системой *P. angustifolium*, но большей частью задерживается в ней и не накапливается в проводящих тканях стебля, продвигаясь к листьям, где происходит фотосинтез.

Авторы выражают благодарность коллегам к.г.-м.н. О.К. Смирновой, к.г.н. М.А. Солодухиной и Р.А. Филенко, при-

нимающим участие в сборе и подготовке к анализу проб почв и растений.

Список литературы

1. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
2. Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья / Г.А. Юргенсон., В.С. Четчиков, В.М. Асосков и др. – Новосибирск: Наука, 1999. – 574 с.
3. Горбань Д.Н., Юргенсон Г.А. Свинец в полыни Гмелина (*Artemisia gmelinii*) в природно-техногенном ландшафте Шерловогорского рудного района // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 6. – С. 97–101.
4. Горбань Д.Н. Висмут и свинец в полыни Гмелина (*Artemisia gmelinii*) в природно-техногенном ландшафте Шерловогорского горнорудного района / Д.Н. Горбань, М.А. Солодухина, Г.А. Юргенсон., Р.А. Филенко // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: труды III Всероссийского симпозиума с международным участием и VII всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана 29 ноября – 2 декабря 2010. – Чита. – С. 66–70.
5. Горбань, Д.Н., Юргенсон Г.А. Висмут в растениях Шерловогорского рудного района // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование: труды V Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и XII Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана «Рациональное природопользование», «Современное минералообразование» 10–12 декабря 2014 г., Россия. – Чита, 2014. – С. 80–84.
6. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
7. Протасова Н.А., Беляев А.Б. Химические элементы в жизни растений. // Соросовский Образовательный Журнал. – 2001. – Т. 7, № 3. – С. 25–32.
8. Убугунов В.Л., Кашин В.К. Тяжелые металлы в садово-огородных почвах и растениях г. Улан-Удэ. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. – 128 с.
9. Юргенсон Г.А., Горбань, Д.Н. Свинец и висмут в полыни Гмелина хвостохранилища Шерловогорского ГОКА (Юго-Восточное Забайкалье) // Вестник ЗабГУ. – 2015. – № 10. – С. 20–32.
10. Юргенсон Г.А., Смирнова О.К., Солодухина М.А., Филенко Р.А. Геохимические особенности руд и технозёмов хвостохранилища золото-молибденового рудника Давенда в Восточном Забайкалье, Россия // Литосфера. – 2016. – № 2. – С. 91–103.
11. Юргенсон Г.А. Геохимия ландшафта: учеб. пособие для вузов. – Чита: Изд-во ЗабГГПУ, 2005. – 152 с.
12. Broyer T.C., Johnson C.N., Paull R.E., Some aspects of lead in plant nutrition // Plant Soil. – 1972. – № 36. – P. 301.
13. Cannon H.L., Lead in vegetation, in: Lead in the Environment, Lovering T.G., Ed., U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. – 1976. – № 23. – P. 957.
14. Yurgenson G.A. About the form of lead in soil talling dzhida tungsten-molibdenum plant Goldschmidt 2015. – Abstracts: <http://goldschmidt.info/2015/uploads/abstracts/finalPDFs/A-Z.pdf>. – P. 3553.