

БИОДОСТУПНОСТЬ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ Г. СВИРСКА (ЮЖНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)

Гордеева О. Н., Белоголова Г.А.

Институт геохимии им. А.П.Виноградова СО РАН, г. Иркутск, e-mail: gordeeva@igc.irk.ru

Изучение миграции макро- и микроэлементов из почв в растения в природно-техногенных условиях в настоящее время является актуальной задачей. Это связано с тем, что некоторые микроэлементы относят также к тяжелым металлам, в повышенных концентрациях обладающих токсичными свойствами по отношению к живым организмам (медь, цинк, марганец). Мышьяк, кадмий и свинец обладают выраженными токсичными свойствами, необходимость их для нормального развития растений и животных либо крайне низкая, либо является недоказанной [Елпатьевский, 1993; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Техногенные источники, расположенные на территории Южного Прибайкалья, часто соседствуют с аграрными ландшафтами, что создает потенциальную опасность включения токсичных элементов в пищевые цепи. В число основных техногенных источников загрязнения региона входит промплощадка Ангарского металлургического завода (АМЗ), расположенного в г. Свирске. На территории города имеется также аккумуляторный завод, являющийся источником Pb, Zn и Hg. В настоящем исследовании рассматривается биодоступность макро- (K, P) и микроэлементов (Mn, Cu, Zn, As, Cd, Pb) в почвах г. Свирска и его окрестностей.

Материалами исследования послужили почвы, дикорастущие и сельскохозяйственные растения, плодовые тела высших грибов, отобранные в г. Свирске, его окрестностях и на условно-фоновых участках. Все пробы почв и растений высушены до воздушно-сухого состояния (грибы при температуре 30° С) и проанализированы методом атомной абсорбции, картофель фонового участка (поселки на побережье оз. Байкал) – методом ICP-MS.

Почвы и растения лесных ландшафтов. В таблице 1 представлены новые данные о содержаниях некоторых макро- и микроэлементов в почвах (гор. A₀+A) и растениях лесопарковых зон г. Свирска, удаленных от промплощадки АМЗ, и в окрестностях города.

Таблица 1

Средние содержания макро- и микроэлементов в почвах, растениях и грибах

Проба	K %	P %	Mn мг/кг	Cu мг/кг	Zn мг/кг	As мг/кг	Cd мг/кг	Pb мг/кг
Почвы								
г. Свирск, n=6	1.49	0.08	870	28.3	82.7	35.4	0.242	119.5
ПДК / ОДК почв ¹	–	–	1500	33-132	55-220	2-10	0.5-2	32-130
Региональный фон ²	1.4-1.7	–	1046-1200	46-51	84-91	–	–	10
Кларк ³	1.36	0.08	850	23.9±2.7	50-90	5-8.7	0.48±0.09	10-40
Растения								
Травы, n=3	1.38	1.83	76.3	4.23	31.7	0.075	0.010	2.26
Листья березы, n=4	0.72	1.58	195	18.3	131	0.075	0.059	4.29
Грибы, n=6	3.38	3.82	12.2	74.7	125	3.19	0.630	1.33
Грибы (фон ⁴), n=2	3.18	3.51	21.5	17.6	61.0	0.25	0.640	0.26
Кларк ³	0.3	0.07-0.12	112-630	1-33	3.0-160	0.02-0.3	0.005-0.6	0.1-2.7

¹Контроль..., 1998. ²Гребенщикова и др., 2008. ³Виноградов, 1957; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989.

⁴Усть-Ордынский Бурятский округ.

В отличие от сильно загрязненных техногенных почв вблизи АМЗ [Гордеева и др., 2010], концентрации большинства изученных элементов в лесных почвах города и его окрестностей находятся в пределах кларковых значений и не превышают допустимые нормы. Исключением является As, средние содержания которого в этих почвах составляют 3.5 ОДК. Концентрации Pb в лесных почвах на порядок выше регионального фона. Повышенные содержания в почвах двух этих элементов связаны, прежде всего, с

мышьяковыми отвалами АМЗ, материалы которого использовались для отсыпки дорог на изучаемой территории. Дополнительным источником Рb в почвах является аккумуляторный завод, а также выбросы автотранспорта. Максимальные содержания этого металла в почвах вдоль автодорог г. Свирска составляют 250 мг/кг.

Концентрации элементов в изученных растениях не всегда коррелируют с их валовыми содержаниями в почвах, хотя в целом отмечается увеличение бионакопления элементов-токсикантов вблизи техногенной аномалии. Установлено, что содержания As и Cd в надземных частях кровохлебки [Гордеева и др., 2010], произрастающей в 5-10 м от промплощадки АМЗ, на 1-2 порядка (Рb в 1,8 раза) выше, чем в кровохлебке, отобранной в окрестностях г. Свирска (рис. 1). Концентрации биофильных элементов (К, Р, Мn) в растениях этого вида, напротив, уменьшаются вблизи АМЗ и увеличиваются в окрестностях города. Содержания Cu и Zn в кровохлебке лесной и техногенной зон города отличаются незначительно.

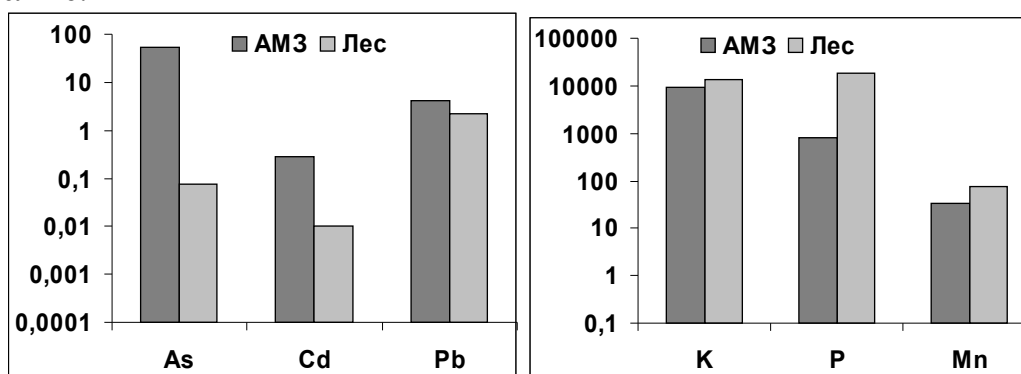


Рис. 1. Средние содержания макро- и микроэлементов в кровохлебке аптечной, мг/кг

Полученные данные свидетельствуют о снижении биодоступности необходимых элементов питания растений при увеличении поступления в них элементов-токсикантов в условиях техногенного стресса.

Одним из главных факторов, определяющих биодоступность химических элементов, является их подвижность в почвах. Ранее [Гордеева и др., 2010] было установлено, что в техногенно загрязненных почвах вблизи отвалов АМЗ подвижность всех тяжелых металлов резко возрастает, чему способствуют кислые значения рН почвенного раствора. Увеличение концентраций тяжелых металлов в подвижных фракциях почв промплощадки АМЗ привело к значительному накоплению металлов и As в произрастающих на этих почвах растениях. И напротив, снижение доли подвижной фракции тяжелых металлов и As в почвах лесной зоны г. Свирска и его окрестностей способствовало уменьшению бионакопления этих элементов, что видно на примере кровохлебки аптечной (рис. 1).

Бионакопление в значительной мере определяется видовой принадлежностью растений. Изучение растений, отобранных в окрестностях г. Свирска на удалении от промплощадки АМЗ, показало, что листья березы (нижняя часть кроны) аккумулируют Mn, Cu, Zn и Cd в больших концентрациях, чем кровохлебка. Содержания указанных металлов в растениях обоих видов находятся в пределах кларков.

Тем не менее, количества Zn в листьях березы на порядок превышают его содержания в почвах. Среди тяжелых металлов Zn, как и Mn, обладают повышенной биофильностью и имеют свойство накапливаться в листьях [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989] и березовом соке [Елпатьевский, 1993; Белоголова, Матяшенко, 2010]. Кроме того, отмечается повышенное, относительно кларков, накопление Рb листвой березы, что может быть обусловлено не только влиянием АМЗ, но и аккумуляторным заводом, выбросами автотранспорта.

В изученных древесно-травянистых растениях установлены также высокие, по сравнению с кларками, содержания К и Р. Оба вида растений аккумулируют Р в количествах, на два порядка превышающих содержания его в почвах, что объясняется высокой биофильностью К и Р, участием их в жизненно важных физиологических процессах.

Грибы значительно отличаются от растений способностью аккумулировать макро- и микроэлементы, в том числе тяжелые металлы (табл. 1). Это связано с биологическими особенностями строения грибов, плодовые тела которых растут на мицелии, простирающемся на сотни метров в верхнем горизонте почв. Вся поверхность мицелия впитывает различные химические элементы, которые затем поступают в карпофоры. Установлено, что концентрации К, Cu и Cd в плодовых телах грибов в 2.3-2.6 раз, а Р и Zn на 1-2 порядка больше их концентраций в почвах. В то же время для грибов отмечается меньшая аккумуляция Mn и Pb по сравнению с растениями.

Выявлено повышенное накопление As, Pb, Cu и Zn грибами, произрастающими на территории г. Свирска и в его окрестностях, относительно грибов фонового участка. Этот факт характеризует специфику техногенных ландшафтов г. Свирска, где основными элементами-загрязнителями являются As, Pb, Cd, Cu, Zn и некоторые другие.

Кадмий накапливается в грибах независимо от степени загрязнения ландшафта – концентрации его одинаковы на фоновом и техногенном участках. Причиной повышенной аккумуляции Cd, как и других тяжелых металлов, грибами может быть способность металлов связываться сульфгидрильными группами специфических белков – металлотioneинов, входящих в состав «белковых» организмов, к которым относятся и грибы. Последнее свойство можно рассматривать как механизм закрепления и детоксикации тяжелых металлов. Кроме того, известно, что между Cd и Zn, в силу геохимического сродства, возможен биологический изоморфизм, в результате которого Cd поглощается грибами и растениями активнее Zn [Елпатьевский, 1993; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Почвы и растения сельскохозяйственных ландшафтов. Почвы дачных участков г. Свирска, как и лесные почвы, характеризуются высокими концентрациями As и Pb, превышающими допустимые нормы (табл. 2). В целом, в пахотном горизонте этих почв повышены, относительно условно-фоновому участку, содержания всех изученных макро- и микроэлементов, в том числе наиболее опасных тяжелых металлов. Это обусловлено тем, что дачные участки расположены в 200-500 м от промплощадки мышьякового завода. В результате многолетней водной, воздушной, механической миграции техногенных частиц АМЗ, содержащих различные элементы, в том числе тяжелые металлы, произошло заметное увеличение их концентраций в сельскохозяйственных почвах города. Это загрязнение носит локальный характер, о чем свидетельствуют низкие содержания химических элементов в пахотных почвах окрестностей г. Свирска, сопоставимые с условно-фоновыми почвами. Несмотря на это, во всех изученных сельскохозяйственных почвах установлено превышение концентраций Cu, Zn и Pb относительно обычного их содержания в почвах данной категории (табл. 2). Для As это превышение выявлено только в почвах дачных участков.

Таблица 2

Средние содержания макро- и микроэлементов в сельскохозяйственных почвах и растениях

Проба	К %	Р %	Mn мг/кг	Cu мг/кг	Zn мг/кг	As мг/кг	Cd мг/кг	Pb мг/кг
Почвы								
Г. Свирск (дачи) n=8	1.74	0.160	820	56.5	159	123	0.41	297
Окрестности г. Свирска, n=3	1.70	0.085	860	31.7	88.3	12.3	0.17	26.7
Условный фон ¹ , n=8	1.75	0.081	1000	32.9	91.0	11.2	0.20	20.5
Обычное в почвах ²	–	–	–	1-20	3-50	0.1-20	0.1-1	0.1-20
ПДК почв ²	–	–	–	100	300	20	3	100
Растения								
Картофель (г. Свирск), n=7	2.07	1.35	9.4	3.30	18.3	0.54	0.022	0.105
Картофель (фон ³), n=4	–	0.088	4.3	2.80	10.3	0.011	0.006	0.030
Картофель (г. Усолье ⁴), n=2	3.01	2.08	7.0	3.30	24.5	0.05	0.028	0.110
Морковь (г. Свирск), n=2	2.86	1.68	14.7	2.25	22.5	2.34	0.050	0.185
Морковь (г. Усолье ⁴), n=2	2.92	2.35	6.55	3.70	25.0	0.05	0.022	0.130

¹В 15 км от г. Свирска. ²Для пахотных почв [Klock, 1980]. ³Оз. Байкал. ⁴Г. Усолье-Сибирское.

Сельскохозяйственные растения проявляют те же закономерности бионакопления, что и древесно-травянистая растительность, грибы. Различные виды овощных культур также отличаются способностью аккумулировать химические элементы. Установлено, что картофель г. Свирска в меньшей степени накапливает изученные элементы по сравнению с морковью, отобранной там же. Специфика техногенно загрязненной территории г. Свирска проявляется в том, что выращенные в его пределах овощи содержат повышенные на 1-2 порядка количества As по сравнению с промышленным г. Усолье-Сибирское и условно-фоновым участком, расположенным на побережье оз. Байкал. Это свидетельствует о том, что в пахотных почвах г. Свирска As находится в доступных для растений формах. Проведенные ранее исследования [Гордеева и др., 2010] подтверждают, что доля подвижного As в почвах дачных участков г. Свирска достаточно высокая, выше, чем в технозомах вблизи АМЗ.

В целом тенденция повышенного, относительно фона, бионакопления потенциально опасных и токсичных элементов (Cu, Zn, As, Cd, Pb), как и необходимых элементов питания (P, Mn), прослеживается для всех овощей, выращенных в пределах промышленных городов (табл. 2).

Таким образом, биодоступность химических элементов в природно-техногенных условиях зависит от разных факторов. Среди них главное значение имеют формы нахождения элементов в почвах. Увеличение доли подвижных фракций тяжелых металлов в почвах приводит к возрастанию накопления их растениями и, одновременно, к снижению поступления основных элементов питания. Миграция As в системе «почва-растение», рассмотренная на примере г. Свирска, показывает, что увеличение подвижных форм этого элемента в почвах неизбежно приводит к накоплению его как в дикорастущих, так и культурных растениях. Последнее обстоятельство имеет важное значение в связи с возможностью поступления As в организм животных и человека.

Миграция химических элементов из почв в растения определяется также видовой принадлежностью растений. В связи с этим уровни содержания элементов в растениях, произрастающих в одинаковых геохимических условиях, сильно различаются.

Грибы можно отнести к организмам-аккумуляторам химических элементов, в том числе тяжелых металлов, что обусловлено особенностями биологического строения этих организмов. Свойство тяжелых металлов связываться с белковыми структурами грибов приводит к значительному накоплению в них элементов-токсикантов, но может также рассматриваться как механизм закрепления и детоксикации.

Работы выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ №12-05-00257-а.

Литература

Белоголова Г. А., Матяшенко Г. В. Береза (*Betula pendula* Roth) как индикатор эколого-геохимических условий в техногенных зонах Южного Прибайкалья // География и природные ресурсы. 2010. № 1. С. 63-70.

Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.

Гордеева О. Н., Белоголова Г. А., Гребенщикова В. И. Распределение и миграция тяжелых металлов и мышьяка в системе «почва-растение» в условиях г. Свирска (Южное Прибайкалье) // Проблемы региональной экологии. 2010. №3. С. 108-113.

Гребенщикова В. И., Лустенберг Э. Е., Китаев Н. А., Ломоносов И. С. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон) / под научн. ред. акад. М. И. Кузьмина. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2008. – 234 с.

Елпатьевский П. В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. – М.: Наука, 1993. – 253 с.

Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. 440 с.

Контроль химических и биологических параметров окружающей среды / под ред. Исаева Л. К. – СПб: эколого-аналитический информационный центр «Союз», 1998. – 896 с.

Klock A. Richtwerte-80. Orientierungsdaten for tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturbuden // Mitteilungen VDLUFA. 1980. N. 1-3. S. 9-11.