УДК 631.416.8

АККУМУЛЯЦИЯ МЕДИ РАСТЕНИЯМИ BROMOPSIS INERMIS (LEYS.) В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

[1,2]Ильбулова Г.Р., [1]Биктимерова Г.Я., [1,2]Семенова И.Н.

[1]ГАНУ «Институт региональных исследований Республики Башкортостан», Сибай, e-mail: sgulnaz2006@rambler.ru;

[2]Сибайский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет», Сибай, e-mail: ilbulova@mail.ru

Изучена аккумуляция меди растениями Bromopsis inermis (Leys.) в условиях техногенного загрязнения. Исследования почв и растений проводились в зоне воздействия крупного в Башкирском Зауралье перерабатывающего предприятия – Сибайского филиала Учалинского горно-обогатительного комбината. Многочисленные промышленные выбросы в атмосферный воздух, отходы переработки, вскрышные породы интенсивно загрязняют почву. Основным источником загрязнения почвы ионами тяжелых металлов является хвостохранилище. Отсутствие водного слоя в западном отсеке хвостохранилища способствует выносу пылевых частиц на окружающую территорию. Исследования содержания валовой формы меди в почве показало, что в зоне воздействия СФ УГОК почвы характеризовались повышенным содержанием, превышающим уровень ПДК, за редким исключением. В то же время в почвах не наблюдалось высокого содержания подвижной формы меди. Недостатка меди в растениях не отмечено, превышение нормального содержания во всех пробных площадках обнаружено в стеблях, листьях и колосках растения, в ряде пробных площадок – в корнях. Превышение токсичности металла 20 мг/кг отмечено в корнях, стеблях и листьях. Учитывая, что растения Bromopsis inermis (Leys.) являются накопителем, а в ряде пробных площадок концентратором меди, то в близлежащих от источника загрязнения населенных пунктах медь представляет угрозу для здоровья человека, так как растения могут поглощать ее из почвы, аккумулируя в тканях или на поверхности листьев, выступая, таким образом, в качестве промежуточного звена в цепи «почва – растение – животное – человек».

Ключевые слова: техногенное загрязнение, медь, почвы, растения, коэффициент биологического накопления

COPPER ACCUMULATION BY PLANTS BROMOPSIS INERMIS (LEYS) IN CONDITIONS OF TECHNOGENIC POLLUTION

[1,2]Ilbulova G.R., [1]Biktimerova G.Y., [1,2]Semenova I.N.

[1]Institute of Regional Researches of the Republic of Bashkortostan, Sibay, e-mail: sgulnaz2006@rambler.ru;

[2]Sibay branch of Bashkir State University, Sibay, e-mail: ilbulova@mail.ru

In this article the study of copper accumulation by Bromopsis inermis (Leys) in conditions of technogenic pollution is presented. Researches of soil and plants were carried out in the zone of influence of a large processing company in the Bashkir Trans-Urals – Sibay Branch of Uchaly Mining and Concentration Complex (SB UMCC). Numerous of industrial emissions in atmosphere, processing waste, overburden rocks pollute the soil intensively. The main source of soil pollution by heavy metal ions is the tailings pond. The lack of a water layer in the western bay of the tailings pond contributes to carrying-out of dust particles to the surrounding area. Research of content of the gross copper in the soil showed that in the SB UMCC impact zone they were characterized by a high content in excess of the MPC, with a few exceptions. At the same time the high maintenance of a mobile form of copper in soils was not observed. There is not noted a copper deficiency in plants, but in all test plots the excess of the normal copper content is revealed in culms, leaves and spikelets, and in a number of test plots – also in roots. The excess of toxicity of metal more than 20 mg per kg is noted in roots, culms and leaves. Considering that plants Bromopsis inermis (Leys) accumulates copper, and in some test plots concentrates it, copper is a threat for human health in the settlements placed too close to the pollution source, because plants act as intermediate link in a chain «soil – plant – animal – human».

Keywords: technogenic pollution, copper, soils, plants, coefficient of biological accumulation

Тяжелые металлы, попадая в почву из отходов промышленности, встраиваются в естественный круговорот химических элементов. Они участвуют в процессах образования почвы, поглощаясь почвой и соединяясь с гумусом. Огромное количество тяжелых металлов вымывается из поверхностных слоев почвы при разливе рек, озер, морей, увеличивая территорию загрязнения. Часть из них попадает в растения [1, 4, 5], которые могут накапливать их на поверхности или в тканях вследствие больших возможностей адаптации к изменениям химических свойств окружающей среды.

Важная роль растений, как в геохимическом круговороте микроэлементов, так и в поступлении загрязнений в пищевые цепи, была прекрасно показана для разнообразных экосистем и описана во множестве публикаций В.В. Ковальского [7], В.В. Добровольского [3], Алексеева-Попова Н.В. [2] и других авторов. Растения представляют собой промежуточное звено, через которое микроэлементы переходят из

почв, а частично из воды и воздуха в организм человека и животных [2].

Аккумуляция тяжелых металлов в используемых в пищу частях растений создает угрозу жизнеспособности человека и животных, при этом большое значение имеет форма нахождения металлов в растительных тканях, поскольку это, вероятно, играет решающую роль в переносе их в другие организмы.

Башкирское Зауралье, территория которого богата многочисленными месторождениями полиметаллических руд, является зоной экологического риска в связи с повышенным уровнем ряда тяжелых металлов в объектах окружающей среды [9]. На естественно повышенный геохимический фон накладывается промышленное загрязнение основных «производителей» отходов – горнодобывающих и перерабатывающих предприятий. Наиболее проблемные виды отходов – вскрышные породы и хвосты обогащения СФ УГОК.

На территории данного региона расположены многочисленные горнорудные предприятия, на которых занято население. Помимо этого традиционным занятием является животноводство: население занято разведением крупного рогатого скота, овцеводством и коневодством. Большие территории Зауралья занимают пастбища, где в качестве зональной разнотравной растительности выступают степи. В разнотравно-ковыльных степях широко представлены злаки – кострец безостый (*Bromopsis inermis* Leys.), овсяница ложноовечья (*Festuca pseudovina* Hack. ex Wiesb), в низкотравно-тапчаковых степях в травостое доминируют *Festuca pseudovina* и тырса (*Stipa capillata* L.). Преобладающими почвами являются черноземы, которые составляют более 96% почвенного покрова Башкирского Зауралья. Наиболее распространены выщелоченный, обыкновенный и южный подтипы, представляющие зональный ряд с севера на юг региона.

Одним из распространенных пастбищных растений Башкирского Зауралья является многолетнее травянистое растение из семейства *Poaceae* – кострец безостый *(Bromopsis inermis* (Leys.).

Целью исследований было изучить особенности аккумуляции меди растениями *Bromopsis inermis* (Leys.) в условиях техногенного загрязнения.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в г. Сибай Республики Башкортостан в зоне влияния крупного предприятия – Сибайского филиала Учалинского горно-обогатительного комбината (СФ УГОК).

На СФ УГОК перерабатываются серные, медные, медно-цинковые, сплошные и вкрапленные колчедановые руды. Медно-колчедановые руды содержат медь, цинк, золото, серебро, железо, серу и ряд других редких металлов. В качестве сопутствующих элементов постоянно присутствуют такие вредные элементы-примеси, как мышьяк, сурьма, ртуть, фтор и другие [6].

Сибайский карьер расположен в юго-западной части города, с северной и восточной стороны граничит с жилой зоной. Медная, медно-цинковая и серная руда добываются открытым способом в карьере при помощи буровзрывных работ, с погрузкой руды и вскрышных пород экскаваторами в автомобильный транспорт.

Порода отправляется на Сибайскую обогатительную фабрику (СОФ) железнодорожным и автомобильным транспортом, где подвергается дроблению. Из дробильного отделения измельченная руда направляется во флотационное отделение, где процессы ведутся во влажной среде, и выбросы в атмосферу отсутствуют. По окончании последовательно проведенных процессов измельчения, флотации и сгущения медного, цинкового и пиритного концентратов они поступают на флотацию и сушку в фильтровально-сушильное отделение обогатительной фабрики. Слив из сгустителей отправляется в хвостохранилище обогатительной фабрики, которое состоит из двух отсеков: западного площадью 267,5 тыс. кв. км и восточного – 359,5 тысяч кв. км. Общая площадь хвостохранилища составляет 62,7 гектаров. Оно расположено на расстоянии одного километра от села Калининское в 100 м от реки Карагайлы, хотя санитарно-защитная зона для него должна составлять 300 м. В хвостохранилище накоплено около 25 млн т отходов фабрики, представляющие опасные источниками загрязнения окружающей среды в результате их фильтрация в подземные водоносные горизонты и в почву, прилегающую к накопителям.

На пробных площадках, заложенных на расстоянии 500 м друг от друга, были отобраны почвенные образцы и растения (рис. 1).

Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в растительном сырье *Bromopsis inermis* и почвенных образцах определяли методом атомной абсорбции в центральной лаборатории Сибайского филиала ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат», г. Сибай РБ (№ РОсс RU. 000155358).

Для выявления особенностей аккумуляции металлов в органах растения был вычислен коэффициент биологического накопления (КБН).

Статистическая обработка полученных данных была проведена с помощью пакетов статистических программ Excel и Statistica 6,0.

Химический состав почвы определяет микроэлементный состав произрастающих на ней растений [4]. Типы почв, их свойства, специфичность растущих в данной почве видов растений, климатические условия определяют миграцию металлов из почвы в растения. Некоторые из тяжелых металлов необходимы живым организмам для нормального функционирования, хотя их относят к сильным загрязнителям. Они являются микроэлементами, которые принимают участие в существенных биохимических реакциях. В природе и почвы и растения непременно содержат определенную долю тяжелых металлов. Избыточное его содержание приводит к увеличению негативного влияния на живые организмы. Валовой РГФ для меди установлен на уровне 49 мг/кг, для черноземов – 25 мг/кг, ПДКвал – 55 мг/кг, ПДКподв – 3 мг/кг [9].

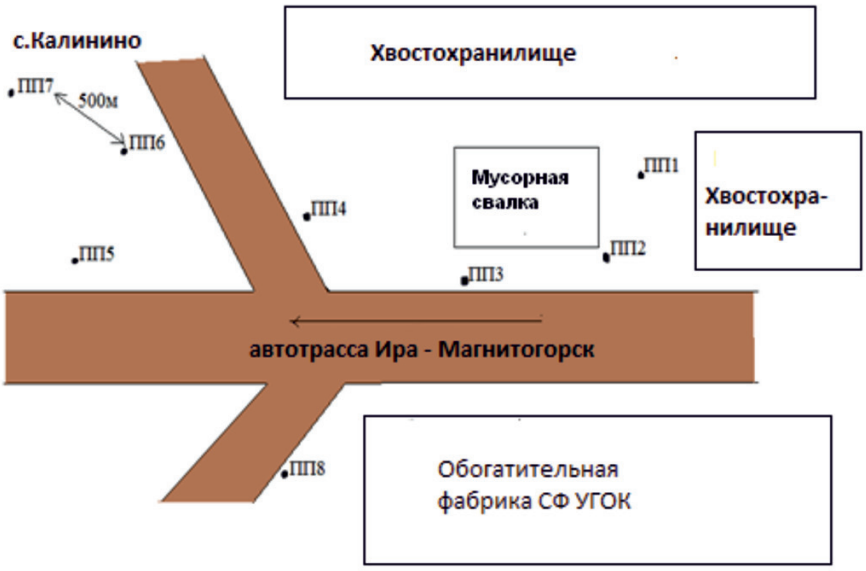

Рис. 1. Расположение пробных площадок

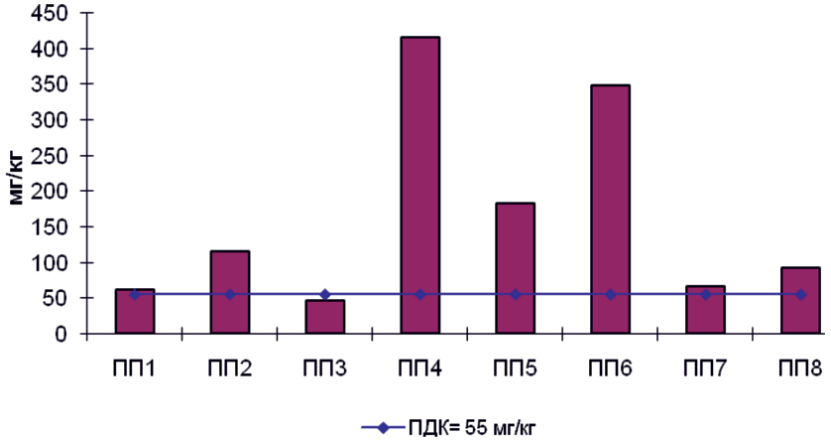

Рис. 2. Валовое содержание меди в почвах в зоне воздействия СФ УГОК

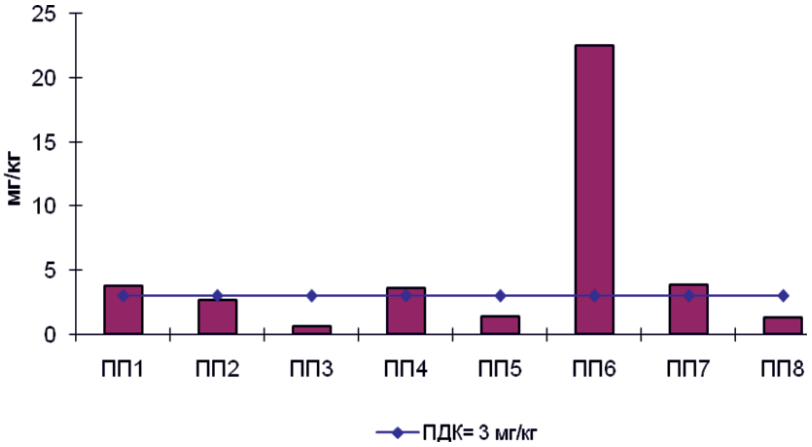

Рис. 3. Содержание подвижных форм меди в почвах в зоне воздействия СФ УГОК

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования содержания валовых форм меди показало, что все почвенные образцы, отобранные в почвах в зоне воздействия СФ УГОК, характеризовались его повышенным содержанием, превышающим уровень ПДК, за исключением образца ПП3. Содержание меди в почвах ПП 1 составляло 1,1 ПДК, ПП 2 – 2 ПДК, ПП 4 – 7,6 ПДК, ПП5 – 3,3 ПДК,ПП 6 – 6,3 ПДК, ПП7 – 1,2 ПДК, ПП 8 – 1,7 ПДК (рис. 2).

Наибольшее содержание подвижных форм меди, равное 7 ПДК, наблюдалось в почвах ПП6, расположенной в 500 м от с. Калинино (рис. 3). Почвенные образцы пробных площадок ПП1, ПП4, ПП7 характеризовались содержанием меди, незначительно превышающим уровень ПДК, а остальные образцы – не превышающим его. Таким образом, в почвах в зоне воздействия СФ УГОК не наблюдалось высокого содержания подвижной формы меди, превышающего уровень ПДК, кроме почвенного образца, взятого на расстоянии 500 м от него. Высокое содержание валовых форм меди, превышающих ПДК, отмечалось непосредственно у объекта.

Растительное сырье является одним из путей поступления тяжелых металлов в организм человека. Однако в растениях, в том числе дикорастущих, содержание тяжелых металлов до сих пор не нормируется, поэтому предельно допустимую концентрацию (ПДК) для меди в растениях точно определить нельзя. По мнению разных авторов, эти значения колеблются в разных интервалах. Ю.В. Алексеевым [1] установлено, что нормальное содержание меди для растений – от 1 до 10 мг/кг сухой массы. Концентрация выше 20 мг/кг считается токсичной.

Недостатка меди в растениях не отмечено, превышение нормального содержания обнаружено в корнях ПП1, ПП2, ПП3, ПП4, ПП6, а в стеблях, листьях и колосках во всех пробных площадках (рис. 4). Превышение токсичности 20 мг/кг отмечено в корнях ПП1, ПП2, ПП3, ПП4, ПП6, стеблях – ПП1, ПП4, ПП5, в листьях – ПП2, ПП4, ПП5, ПП6, ПП8.

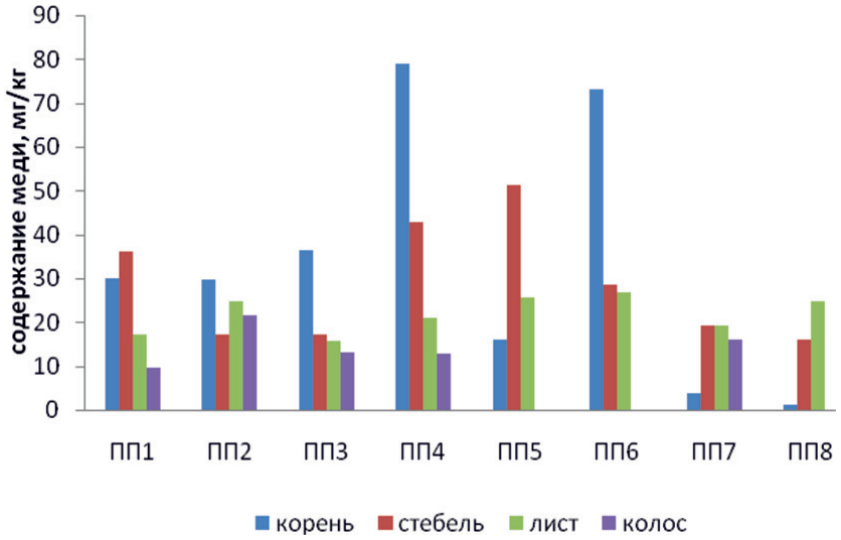

Рис. 4. Содержание меди в различных органах Bromopsis inermis (Leys)

Аккумуляция меди в различных органах *Bromopsis inermis* (Leys.)

Пробные площадки	корень	стебель	лист	колос
ПП1	8,00	9,63	4,60	2,53
ПП2	11,29	6,57	9,48	8,19
ПП3	58,20	27,40	25,00	20,80
ПП4	21,79	11,83	5,76	3,52
ПП5	11,64	37,18	18,55	–
ПП6	3,24	1,27	1,19	–
ПП7	1,00	4,94	4,94	4,13
ПП8	1,00	12,90	19,80	–

Если КБН > 10, то вид считается концентратором изучаемого элемента. Если 10 > КБН ≥ 1, металл относится к элементам слабого накопления, если 1 > КБН ≥ 0,1 – к элементам слабого захвата.

Исследования КБН меди показало, что медь накапливается в органах *Bromopsis inermis* (Leys.) (таблица).

Концентратором меди во всех органах *Bromopsis inermis* (Leys.) является в пробных площадках ПП3 и ПП5, а элементом слабого накопления в ПП1, ПП6 и ПП7.

Заключение

Таким образом, горнорудная промышленность оказывает негативное влияние на окружающую среду и способствует накоплению меди в растениях *Bromopsis inermis* (Leys.). В большинстве пробных площадок содержание меди не превышало токсический уровень, и являлся аккумулятором металла. Учитывая то, что с.Калинино очень близко расположено к зоне техногенного воздействия, можно заключить, что это представляет угрозу для здоровья его жителей, так как растения поглощают из почвы тяжелые металлы, аккумулируют их в тканях или на поверхности листьев, являясь, таким образом, промежуточным звеном в цепи «почва – растение – животное – человек».

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Республики Башкортостан молодым ученым и молодежным коллективам (постановление Правительства Республики Башкортостан от 03.02.2015 г. № 17).

Список литературы

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.

2. Алексеева-Попова, Н.В. Адаптация растений к избытку тяжелых металлов в биогеохимических провинциях / Н.П. Алексеева-Попова // Микроэлементы в биологии и их применение в медицине и сельском хозяйстве. – Чебоксары, 1986. – Т. 3. – С. 66–67.

3. Добровольский В. В. Основы биогеохимии. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.

4. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.

5. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М., 1989. – 439 с.

6. Кашапов Р.Ш., Курамшина Н.Г., Магадеев М.Ш., Фахретдинова Г.Р. Экология и безопасность жизнедеятельности Башкирского Зауралья. – Уфа: Башк. пед. ин-т, 1999. – 97 с.

7. Ковальский В. В., Кривицкий В. А., Алексеева С.А., Летунова С.В., Опекунова М.Г., Скарлыгина-Уфимцева М.Д., Берман Ш., Илзинь А., Петерсон Н., Жогова Е.П., Рублик Р.Я. Южно-Уральский субрегион биосферы // Труды биогеохим. лаборатории. – М., 1981. – Т. 19. – С. 3–64.

8. Мур Дж.В., Рамамутри С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка их влияния; пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 181 с.

9. Опекунова М.Г., Алексеева-Попова Н.В., Арестова И.Ю., Грибалев О.В., Краснов Д.А., Бобров Д.Г., Осипенко О.А., Соловьева Н.И. Тяжелые металлы в почвах и растениях Южного Урала. II. Экологическое состояние антропогенно нарушенных территорий // Вестник СПбГУ. Сер.7. – 2002. – Вып. 1 (№ 7). – С. 63–71.