

УДК 631.411 (470.57)

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ ВТОРОГО КЛАССА ОПАСНОСТИ В ПОЧВАХ И ПОРОДАХ ЮЖНОГО УРАЛА: ЗАПАСЫ И ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ

И.Г. Асылбаев, к.с.-х.н., Башкирский ГАУ

Определено содержание и распределение тяжелых металлов второго класса токсичности (хром, кобальт, никель, медь, молибден) в профиле почв лесных, луговых и агроэкосистем Южного Урала. Создана база данных концентрации химических элементов, проведена экологическая оценка суммарного химического загрязнения, рассчитаны запасы в полуметровом слое почв. Установлено, что накопление элементов убывает в ряду: молибден, медь, хром.

Ключевые слова: тяжелые металлы, содержание, распределение, запасы химических элементов, Башкортостан, Южный Урал.

В условиях возрастания антропогенных воздействий на окружающую среду, исследования поведения токсикантов в почве - первостепенная задача современного почвоведения. Среди химических элементов, загрязняющих почву, наиболее опасны тяжелые металлы (ТМ), относящиеся к первому и второму классам опасности. В настоящее время нет единого подхода к оценке степени загрязнения почв [5, 20], при которой очень важна точка отсчета, т.е. показателя, характеризующего чистый объект. Это особенно актуально при определении техногенного или естественного природного загрязнения. Техногенное загрязнение приводит к нарушению естественного круговорота веществ и энергии в биогеоценозах, изменению темпов и направлений миграции химических элементов в экосистемах. В то же время по разным причинам наблюдаются природные «аномалии» повышения содержания токсичных элементов в почвенном профиле, где отсутствует промышленность. На практике при экологическом нормировании часто используют величины ПДК, ОДК, региональные кларки и фоновые концентрации. Применение указанных параметров широко отражаются в работах многих ученых [4, 9, 6, 17, 28].

Южный Урал представляет собой особую провинцию с высоким аномальным содержанием химических элементов. Для рационального ведения земледелия, получения необходимого количества и качества продукции, экологической оценки, знание закономерностей распределения элементов приобретает особую актуальность.

Цель исследований - определить валовое содержание и запасы химических элементов второго класса опасности в почвах различных экосистем (лес, пашня, луг) и оценить суммарное загрязнение тяжелыми металлами.

Объект исследований - почвенный покров, сформированный на Южном Урале в следующих геоморфологических районах Республики Башкортостан: Уфимское плато, Зауральский пенеппен, Юрюзано-Айская предгорная равнина и Белебеевская платообразная возвышенность.

Почвенные разрезы закладывали на постоянных экологических стационарах, расположенных в различной естественной и антропогенной среде (лес, пашня, луг). На Уфимском плато исследования проводились на четырех стационарных участках: Байки, Магинск, Абызово, Караяр; на Юрюзано-Айской предгорной равнине – семи стационарных участках: Вознесенка, Большеустикинское, Карлыханово, Ногуши, Ургала, Еланлино, Аркаулово; на Зауральском пенеппене – пяти стационарных участках: Сафарово, Комсомольское, Кирябинка, Ахуново, Учалинский горнообогатительный комбинат; на Белебеевской платообразной возвышенности исследования проводились на шести стационарных участках: Райманова гора, Присюньское лесничество, Акбарисовское лесничество, Туймазы, Нарыштау, Япрыково (рис. 1). Всего заложено 36 почвенных разрезов, в том числе на Уфимском плато – 8, Юрюзано-Айской предгорной равнине – 17, Зауральском пенеппене – 6 и Белебеевской платообразной возвышенности – 5.

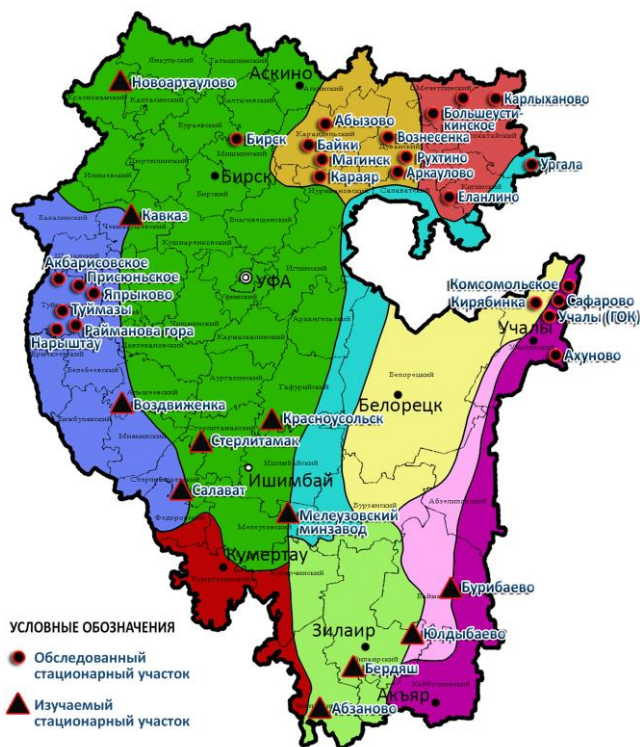


Рис. 1. Стационарные участки Республики Башкортостан

На Уфимском плато почвообразующие породы представлены в основном карбонатными элювиально-делювиальными глинами. В почвенном покрове преобладают серые лесные, дерново-карбонатные и перегнойно-карбонатные почвы. Перегнойно-карбонатные почвы больше приурочены к замшелым пихтарникам, соснякам и ельникам. В этих почвах под слаборазложившейся оторфованной подстилкой залегает органо-минеральный горизонт, состоящий из перегноя и мелких обломков щебня карбонатных пород, мелкозем часто выщелочен от карбонатов.

Почвенный покров Юрюзано-Айской предгорной равнины представлен преимущественно светло-серыми, серыми, темно-серыми лесными почвами, черноземами оподзоленными и выщелоченными с небольшими массивами дерново-подзолистых, дерново-карбонатных почв. Встречаются также лугово-черноземные, лугово- и торфяно-болотные, аллювиальные луговые и недоразвитые почвы на выходах коренных горных пород. Почвы характеризуются относительно благоприятным гумусным состоянием и физико-химическими свойствами. Они отличаются укороченностью гумусового профиля, неблагоприятными агрофизическими свойствами и тепловым режимом, пониженной биологической активностью, низкой обеспеченностью подвижным фосфором и азотом.

На Зауральском пенеппене контрастный рельеф и многообразие почвообразующих пород осложняют структуру почвенного покрова. Под лесами сформированы преимущественно серые лесные почвы. Эти почвы часто близко подстилаются коренными породами, поэтому профиль их неполноразвитый. В типе серых лесных почв зоны преобладают темно-серые лесные почвы. Они характеризуются слабокислой реакцией среды, довольно

высоким содержанием гумуса в перегнойно-аккумулятивном горизонте, которое резко уменьшается с глубиной. Содержание обменных оснований невелико. На хорошо дренированных участках под хвойными и лиственными лесами с развитым травяным покровом на элювии коренных пород формируются дерновые литогенные почвы, зачастую также неполноразвитые. Дерновые литогенные почвы в связи с развитым травяным покровом и небольшой мощностью профиля содержат относительно больше гумуса и поглощенного кальция, чем темно-серые лесные почвы и имеют средне- и сильноокислую реакцию среды.

Развитие горнодобывающей промышленности способствовало формированию специфических техногенно-нарушенных почв. Они не дифференцированы по генетическим горизонтам, перемешаны с щебенкой и обломочным материалом коренных пород. Заселение почвенного покрова естественной растительностью затруднено. Содержание органического вещества в верхних горизонтах изменяется в широком диапазоне – от высоких значений до крайне низких, кислотность определяется характером вмещающих пород.

Почвенный покров на стационарах Белебеевской платообразной возвышенности представлен преимущественно черноземами типичными и типично-карбонатными, и в меньшей степени серыми и темно-серыми лесными почвами. Почвообразующие породы составляют в основном делювиальные карбонатные глины, тяжелые и легкие суглинки и элювий известняков. Черноземы типичные в большинстве своем среднемошные. Содержание гумуса изменяется в широком диапазоне - от 4,7 до 12,8%. Целинные почвы обычно высокогумусные, а пахотные - среднегумусные. Гранулометрический состав среднесуглинистый, иногда тяжелосуглинистый. Реакция

среды близка к нейтральной или слабощелочная при наличии свободных карбонатов. Почвы насыщены основаниями, в составе которых преобладает кальций. Содержание гумуса в серой лесной почве составляет 4,1%, а в темно-серой - 7,9%, с глубиной гумусированность обеих почв резко снижается. Верхние горизонты характеризуются слабокислой реакцией среды, которая к низу профиля возрастает до нейтральной.

Методика. Экспериментальная работа выполнялась маршрутно-экспедиционным и лабораторно-аналитическим методами. Почвенные образцы для анализа отбирали из каждого генетического горизонта почвенного профиля в 1999-2014 гг. При этом учитывали закономерности формирования почвенного покрова в ландшафтах. Генетические горизонты выделяли визуально и ориентировочно по мощности, отбирали пробы массой около 300 г и после высушивания и просеивания через сита проводили лабораторный анализ. Для оценки элементного состава в почвах и породах применялся метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой – ICP-MS на масс-спектрометре марки VG Plasma Quad в стандартных условиях изменения с использованием импортных эталонных образцов. Определение физико-химических, физических, морфологических свойств почв проводилось общепринятыми методами [1,2]. Содержание гумуса исследовали методом И.В. Тюрина со спектрометрическим окончанием.

Оценку экологической обстановки геоморфологических районов Республики Башкортостан проводили по степени суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами второго класса токсичности и рассчитывали по формуле Саета: $Z_c = \sum K_{ci} \cdot (n-1)$, где n-число анализируемых элементов; K_{ci} – коэффициент концентрации i-го элемента, $K_{ci} = C_i / C_{fi}$ [19]. Фоновые значения определяли по минимальной величине или по среднему значению из нескольких минимальных для каждого геоморфологического района исследований. Роль отдельных элементов определяли (в %) по отношению к фоновым показателям. Полученные результаты сравнивали с принятыми категориями суммарного загрязнения почв.

| | |
|----------------------------|--------|
| Категория загрязнения почв | Z_c |
| Допустимая | 1-8 |
| Слабая | 8-16 |
| Средняя | 16-32 |
| Сильная | 32-64 |
| Очень сильная | 64-128 |

Для расчета запасов тяжелых металлов (ЗТМ)

использовали формулу: $TM (кг/га) = \frac{a \times h \times d \times 10^7}{10^6} = a \times h \times d \times 10$,

где a – содержание элемента в слое почвы, мг/кг; h – глубина слоя, м; d – плотность почвы, г/см³; 10⁷ – коэффициент пересчета массы слоя почвы 1 га в кг; 10⁶ – коэффициент пересчета мг в кг.

При этом был использован принцип расчетов, предложенный А.В. Смагиным в соавт. (2014). Данный подход позволяет оценить количество загрязняющего вещества (в кг/га), которое находясь в почвенной толще, может угнетать рост и развитие растений и быть источником загрязнения.

Результаты и их обсуждение. Содержание ТМ в почвах различных экосистем Башкортостана систематически не исследовалось. Наиболее широко изучено содержание элементов, важных с агрономической точки зрения, и процессов почвообразования. Исследования по накоплению и миграции тяжелых металлов немногочисленны и ограничены кадмием, цинком, медью и свинцом.

В соответствии с действующим в России ГОСТом ко второму классу умеренно опасных веществ относятся молибден (Mo), медь (Cu), кобальт (Co), никель (Ni), хром (Cr), сурьма (Sr) и бор (B).

Данные о среднем содержании тяжелых металлов по районам исследований приведены в таблице 2.

Главным природным соединением **молибдена** является молибденит, или молибденовый блеск. MoS₂ – минерал, очень похожий по внешнему виду на графит [11]. Техногенное загрязнение почв молибденом связано с добычей, выплавкой и обработкой металлов, рафинированием нефти, со сточными водами. Металлургические предприятия ежегодно выбрасывают на поверхность земли более 1,5 тыс. т молибдена [14]. Количество молибдена в почвах связано также с его содержанием в материнских породах. Породы исследованного региона Южного Урала содержат от 0,13 до 3 мг/кг молибдена. В почвах его количество изменяется от 0,1 до 2,17 мг/кг и коррелирует на уровне 90 % вероятности (табл. 3). Максимальное содержание молибдена обнаружено в почвах луговых экосистем Юрюзано-Айской предгорной равнины (P.15-99. Вознесенка, серая лесная почва – 2,17 мг/кг; P.14-2000. Аркаулово, серая лесная неполноразвитая почва – 2 мг/кг; P.4-2000. Вознесенка, серая лесная неполноразвитая почва – 1,13 мг/кг), минимальное – на пахотных почвах (до 0,25 мг/кг). Очевидно, на пашне происходит активный вынос молибдена сельскохозяйственными культурами. Запасы молибдена в полуметровом слое достигают 13,9 кг/га (см. табл.5). Связь молибдена с органическим веществом также подтверждается высоким коэффициентом корреляции (r = 0,83 при P = 95 %).

2. Содержание элементов 2-го класса токсичности в почвах (среднее по профилю), мг/кг

| Элемент | Уфимское плато, n=7 | Зауральский пенеппен, n=6 | Юрюзано-Айская предгорная равнина, n=17 | Белебеевская платообразная возвышенность, n=6 | ПДК [10] | Кларк в почвах мира [24] |
|---------|---------------------|---------------------------|---|---|----------|--------------------------|
| | | | | | | |

| | M | ±m | M | ±m | M | ±m | M | ±m | | |
|----|------|------|-------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| Mo | 0,5 | 0,04 | 0,6 | 0,04 | 0,6 | 0,04 | 0,1 | 0,01 | - | 1.2 |
| Cu | 10 | 0,9 | 194,7 | 17,8 | 30,5 | 3,4 | 28 | 2,2 | 55 | 30 |
| Co | 6,8 | 0,8 | 18,6 | 1,6 | 19 | 2,1 | 7,7 | 0,8 | - | 8 |
| Ni | 37 | 3,1 | 60,7 | 5,9 | 66,9 | 5,4 | 63,6 | 6,3 | 85 | 50 |
| Cr | 55,8 | 5,1 | 96,3 | 8,3 | 90,8 | 8,1 | 39,1 | 3,4 | - | 70 |
| Sb | 0,1 | 0,01 | 2,8 | 0,3 | 1 | 0,09 | 0,2 | 0,01 | 4.5 | 1 |

Примечание. n – количество почвенных разрезов.

3. Корреляционная зависимость содержания элементов 2-го класса опасности в горизонтах A₀ и AB от их концентрации в породе

| Элемент | y A ₀ от C (X) | | | y AB от X (C) | | |
|----------|---------------------------|-----------------|--------------|---------------|-----------------|--------------|
| | r | t _{st} | уравнение | r | t _{st} | уравнение |
| Молибден | 0,77 | 2,41 | Y=0,62+0,16x | 0,83 | 2,96 | Y=0,55+0,27x |
| Медь | 0,88 | 3,74 | Y=0,88x-2,88 | 0,83 | 2,99 | Y=5,11+0,67x |
| Кобальт | 0,74 | 2,18 | Y=14,7+0,30x | 0,88 | 3,69 | Y=9,22+0,53x |
| Никель | 0,96 | 6,92 | Y=28,5+0,42x | 0,99 | 11,9 | Y=15,2+0,56x |
| Хром | 0,97 | 8,0 | Y=32,2+0,51x | 0,83 | 7,69 | Y=1,67+0,84x |

При P=95%, t_{st} = 2,45.

Кларк **меди** в земной коре составляет 14,3-25 мг/кг, а в почвах мира 30 мг/кг. Медь – один из самых подвижных тяжелых металлов, что подтверждают исследования ученых [7, 27]. Для меди концентрация менее 15 мг/кг совершенно недостаточная для растений и животных, 15-60 – нормальная, а более 60 мг/кг токсичная, вызывающая хлороз и болезни растений [18]. С сельскохозяйственными растениями с 1 га выносятся 50-100 г меди.

Содержание меди в породах республики изменяется в широком диапазоне – от 9,1 до 325,0 мг/кг, в почвах он расширяется до 509 мг/кг (превышение ПДК в 9,3 раза). Основные запасы меди сосредоточены на Зауральском пенеппене, в регионе с развитой горно-рудной промышленностью (табл. 5). Максимальные концентрации обнаружены на стационаре Учалинский горно-обогатительный комбинат. На руднике, особенностью которого является сочетание открытого и шахтного способов добывают медно-цинковые, цинковые и серно-колчеданные руды. Так, в верхнем горизонте дерновой неполноразвитой почвы в разрезе Р.20-2000, заложенном в 100 м от комбината, в слое 5-12 см содержание меди составляет 513 мг/кг, в

горизонте AC в слое 13-20 см – 505 мг/кг почвы. На расстоянии 150 м от этого разреза исследована почва техногенного происхождения, где в горизонте Ат в слое 0-5 см содержание меди составляет 526 мг/кг и в горизонте CD на глубине 6-10 см в туфопесчанике – 325 мг/кг. Между содержанием меди в почве и породах также выявлена положительная связь (см. табл. 3). По данным [25] среднее содержание меди в почвах Новосибирской области составили от 10,4 до 20 мг/кг. Отвалы Учалинского месторождения сложены миндалекаменными базальтами, андезитобазальтами, туфами и брекчиями основного состава, габбро, габбро-диоритами (все вместе 50%), 15% составляют риолиты, дациты, их туфы и лавобрекчии, 20% – серицит-кварцевые, серицит-хлорит-кварцевые метасоматиты с вкрапленностью сульфидов и бедные колчеданные руды; 15% – глинистые породы. Породы отвалов в различной степени сульфидизированы, количество сульфидов в метасоматитах достигает 9%. Средневзвешенное содержание меди в отвалах достигает 0,05%, количество – 224 тыс. т, цинка – 0,12% и 565 тыс. т, серы – 2,35% и 11,1 млн т. Общий объем накопленной вскрыши Учалинского ГОК на 01.01.2011 г. составляло более 500 млн т.

Несмотря на важное значение меди в образовании органических компонентов, функциональная зависимость с содержанием гумуса оказалась не достоверной, что характерно при антропогенном поступлении вещества.

Хром занимает 21 место среди элементов земной коры, его кларк 122 мг/кг [12]. Кларк хрома в почвах мира составляет 70 мг/кг (требования). В США хром занимает третье место среди поллютантов по распространенности в местах захоронения отходов и второе место после свинца, среди неорганических соединений [8]. Поведение хрома в регионе практически не изучено. Содержание хрома в почвах республики колеблется от 13,8 до 260 мг/кг, в метаморфизованных сланцах-эклогитах стационара Кирябинка (Зауральский пенеппен) достигает 587 мг/кг. В большинстве стационаров концентрация хрома в породах выше, чем в почвах (рис.2).

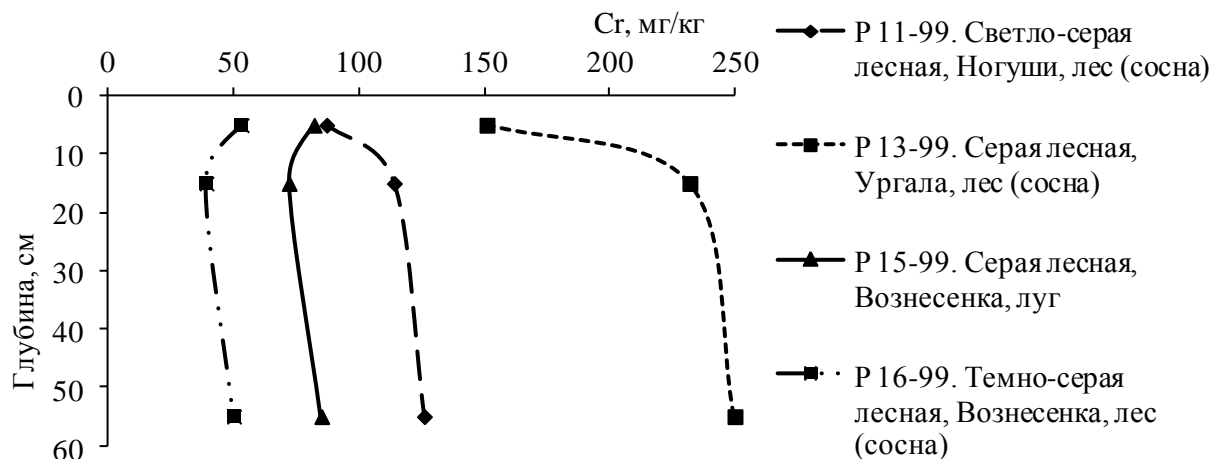


Рис. 2. Распределение хрома по профилю почв Юрюзано-Айской предгорной равнины

Кобальт в природе мало распространен, встречается в соединении с мышьяком в виде минералов: кобальтовый шпейс и кобальтовый блеск [11]. В окружающую среду этот элемент попадает, прежде всего, с выбросами металлургической промышленности и составляет около 800 т в год. Как известно, кобальт в микроколичествах требуется для нормального роста и развития растений и микроорганизмов, он необходим при симбиотической азотфиксации. Кобальт наследуется в почвах от материнских пород [16].

Его содержание в почвообразующих и коренных породах Южного Урала изменяется в относительно небольшом диапазоне - от 1,6 до 37 мг/кг, в почвах средние величины составляют 6,8-19 мг/кг. При изменении содержания кобальта в этих границах параметров зависимость между ними достоверна на меньшем, по сравнению с медью и хромом уровне вероятности. Вместе с тем, содержание кобальта в почве тесно коррелирует с pH_{KCl} ($r = -0,80$ при $P=0,95$). Обратная зависимость с кислотностью среды

соответствует известному факту усиления сорбции кобальта оксидами марганца с увеличением pH .

Основные запасы кобальта сосредоточены на Юрюзано-Айской предгорной равнине и Зауральском пенеппле. Накопление кобальта в гумусово-аккумулятивных горизонтах Зауральского пенеппла обусловлено не только его поступлением из почвообразующих и коренных пород, но и антропогенным привносом. Так, в дерновой неполноразвитой почве стационара Ахуново (Зауральский пенеппл) содержание кобальта в горизонте A_1 составляет 35 мг/кг, что в 2 раза выше, чем в породе. На Юрюзано-Айской предгорной равнине его накопление связано, прежде всего, с естественными условиями почвообразования. Поступление этого элемента в верхние горизонты почв обеспечивается перекачкой соединений кобальта из низлежащих слоев корневыми системами лесной и луговой растительности (рис. 3). Содержание кобальта на Уфимском плато и Белебеевской платообразной возвышенности не превышает показателя кларка мира.

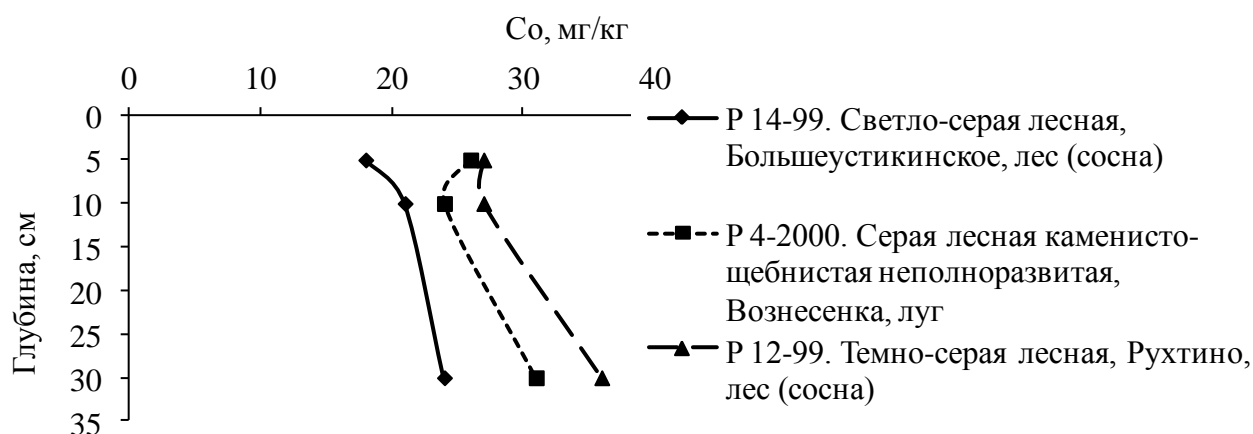


Рис. 3. Распределение кобальта по профилю Юрюзано-Айской предгорной равнины

Никель, подобно кобальту встречается в природе преимущественно в виде соединений с мышьяком или серой, например минералы куперникель, мышьяковоникелевый блеск. В земной коре никель более распространен, чем

кобальт (около 0,01%) [11]. Этот элемент менее активно фиксируется почвенными компонентами, чем кобальт. Вместе с тем, в микроколичествах он необходим для растений и микроорганизмов. Его наиболее доступные

формы, как свинца и хрома, связаны с оксидами железа и марганца [13]. Источниками техногенного поступления никеля в почвы являются продукты сгорания топлива, особенно каменного угля (700 т/год в угольной золе по данным Бондарева, 1976), а также отходы металлургических предприятий.

Содержание никеля в почвах Южного Урала изменяется в очень широком диапазоне - от 0,01 до 247 мг/кг, а в материнских породах - от 10 до 148 мг/кг. Между данными показателями выявлена тесная корреляционная зависимость, коэффициент корреляции $r=0,96$ (гор. А₀) и $r=0,99$ (гор. АВ). Исследованиями [21] в почвах западной Сибири установлено содержание никеля 32,1-35,2 мг/кг.

Почвы Юрюзано-Айской предгорной равнины, Зауральского пенеплена и Белебеевской платообразной возвышенности характеризуются содержанием никеля выше кларка мира, но ниже ПДК. Низкое содержание никеля (как меди и молибдена), зачастую определяемое как нулевое (0,01 мг/кг), имеют пахотные почвы стационаров Вознесенка и Большеустикинское. По всей видимости, на этих участках сельскохозяйственные культуры могут страдать от недостатка этого элемента.

Сурьма в природе встречается, как правило, в соединении с серой в виде сурьмяного блеска, или антимонита. Содержание сурьмы в земной коре сравнительно невелико (1 мг/кг) [11]. В геохимическом отношении сурьма сходна с мышьяком, в окружающей среде высокоподвижна. В почвах она может накапливаться в связи с добычей цветных металлов, вблизи медеплавильных производств содержание сурьмы достигает 200 мг/кг [16].

В почвах Уфимского плато сурьма практически отсутствует (максимальное содержание 0,7 мг/кг на стационаре Байки). Незначительное количество этого элемента выявлено в почвах и почвообразующих породах Юрюзано-Айской предгорной равнины, где оно составляет 0,1-3,7 мг/кг и обычно возрастает вниз по профилю.

Высокие концентрации сурьмы обнаружены только в Зауральском горнорудном регионе, что связано с добычей и переработкой полиметаллических руд. В верхних горизонтах почв максимальное содержание сурьмы выявлено на стационаре Учалинского ГОКа (7,3 мг/кг) и в почвообразующих породах стационаров Комсомольское и Кирябинка (11 мг/кг), что в 2-3 раза превышает ПДК.

Основные носители и концентраторы тяжелых металлов - рудные минералы, скопления которых образуют месторождения и которые также присутствуют в виде вкрапленников в пустых породах. Основными рудными минералами колчеданных месторождений являются пирит, халькопирит, сфалерит. В меньшем количестве присутствуют магнетит, теннантит, борнит, арсенопирит, пирротин. Эти минералы кроме собственного химического состава обладают определенным набором элементов-примесей, которые в условиях активного воздействия агентов окружающей среды могут переходить в подвижное состояние

и вовлекаться в миграцию. Блеклые руды являются носителями мышьяка, ртути, сурьмы. По данным [22], в них может содержаться до 24,8% сурьмы (тетраэдрит) и до 17% ртути (шватцит).

По суммарному химическому показателю загрязнения районы исследований значительно различаются. В наиболее чистом районе Уфимского плато суммарный показатель загрязнения не превышает 8,5 ед. и относится к категории слабого и допустимого загрязнения почв. Основную роль в загрязнении играет молибден, доля которого составляет от 13,7 до 69,6 %. На втором месте расположен хром (9,9-30,4%), далее идут кобальт, никель и медь, количество которых изменяется в близком диапазоне (табл. 4).

4. Оценка суммарного химического загрязнения

| Стационар | Cr | Co | Ni | Cu | Mo | Z _c | Категория загрязнения почв * |
|-----------------------|--------|------|------|------|------|----------------|------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Уфимское плато | | | | | | | |
| Байки, лес | 1,9* | 1,6 | 1,1 | -*** | 3,6 | 5,2 | Допустимая |
| | 23,2** | 19,4 | 13,4 | - | 44,0 | | |
| Байки, луг | 2,1 | - | - | - | 4,8 | 5,9 | >> |
| | 30,4 | - | - | - | 69,6 | | |
| Байки, лес | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 5,7 | 6,1 | >> |
| | 9,9 | 10,9 | 10,9 | 11,9 | 56,4 | | |
| Магинск, лес | 1,2 | 1,0 | 1,5 | 1,0 | 2,8 | 3,5 | >> |
| | 16,1 | 13,3 | 20,0 | 13,3 | 37,3 | | |
| Абызово, луг | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,2 | 1,0 | 3,3 | >> |
| | 24,6 | 23,3 | 22,0 | 16,4 | 13,7 | | |
| Караяр, лес | 2,0 | 1,9 | 1,0 | 1,6 | 5,7 | 8,2 | Слабая |
| | 16,4 | 15,6 | 8,2 | 13,1 | 46,7 | | |
| Караяр, луг | 2,2 | - | 1,3 | 2,2 | 5,8 | 8,5 | >> |
| | 19,1 | - | 11,3 | 19,1 | 50,4 | | |
| Зауральский пенеплен | | | | | | | |
| Сафарово, лес | 6,5 | 1,2 | 4,5 | 1,0 | 2,6 | 11,8 | Слабая |
| | 41,1 | 7,6 | 28,5 | 6,3 | 16,5 | | |
| Комсомольское, луг | 1,0 | 1,3 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,3 | Допустимая |
| | 18,9 | 24,4 | 18,9 | 18,9 | 18,9 | | |
| Кирябинка, лес | 9,7 | 1,7 | 3,0 | 1,0 | 1,0 | 2,4 | >> |
| | 59,1 | 10,4 | 18,3 | 6,1 | 6,1 | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--|------|------|------|------|------|------|------------|
| Ахуново, лес | 19,0 | 1,3 | 3,9 | 1,0 | 4,0 | 25,9 | Средняя |
| | 65,1 | 4,4 | 13,2 | 3,4 | 13,6 | | |
| Учалинский ГОК, лес | 3,4 | 1,9 | 1,2 | 8,8 | 3,4 | 14,7 | >> |
| | 18,2 | 10,2 | 6,4 | 47,0 | 18,2 | | |
| Учалинский ГОК | 2,7 | 1,0 | 1,3 | 7,3 | 4,7 | 13,0 | Слабая |
| | 15,9 | 5,9 | 7,6 | 43,0 | 27,6 | | |
| Юрюзано-Айская предгорная равнина | | | | | | | |
| Вознесенка, луг | 1,5 | 3,4 | 2,4 | 9,9 | 27,1 | 40,3 | Сильная |
| | 3,4 | 7,7 | 5,4 | 22,3 | 61,2 | | |
| Вознесенка, лес | 1,0 | 3,2 | 1,0 | 4,5 | 14,1 | 20,8 | Средняя |
| | 4,2 | 13,4 | 4,2 | 18,9 | 59,3 | | |
| Вознесенка, луг | 2,3 | 3,9 | 3,0 | 10,9 | 14,1 | 30,2 | >> |
| | 6,7 | 11,4 | 8,8 | 31,9 | 41,2 | | |
| Вознесенка, пашня (пшеница) | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 2,0 | Допустимая |
| | 16,7 | 33,2 | 16,7 | 16,7 | 16,7 | | |
| Вознесенка, пашня (рапс) | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | >> |
| | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 20,0 | | |
| Рухтино, лес | 3,3 | 4,4 | 5,0 | 9,2 | 8,1 | 26,0 | Средняя |
| | 11,0 | 14,7 | 16,7 | 30,6 | 27,0 | | |
| Рухтино, луг | 1,8 | 2,7 | 2,5 | 2,9 | 7,4 | 13,3 | Слабая |
| | 10,4 | 15,6 | 14,4 | 16,8 | 42,8 | | |
| Большеустикинское, лес | 1,4 | 3,0 | 1,8 | 5,7 | 8,4 | 15,2 | >> |
| | 6,9 | 14,8 | 8,9 | 28,1 | 41,3 | | |
| Большеустикинское, поле (гречиха, №9) | 1,0 | 1,6 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,6 | Допустимая |
| | 17,9 | 28,4 | 17,9 | 17,9 | 17,9 | | |
| Большеустикинское, поле (гречиха, №10) | 1,3 | 2,1 | 2,2 | 1,0 | 1,0 | 3,6 | >> |
| | 17,1 | 27,6 | 28,9 | 13,2 | 13,2 | | |
| Ногуши, лес | 2,1 | 4,9 | 2,8 | 9,0 | 7,4 | 22,2 | Средняя |
| | 8,0 | 18,7 | 10,7 | 34,4 | 28,2 | | |
| Ургала, лес | 4,1 | 4,5 | 5,8 | 6,8 | 5,6 | 22,8 | >> |
| | 15,3 | 16,8 | 21,6 | 25,4 | 20,9 | | |
| Ургала, луг | 1,8 | 1,4 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 2,2 | Допустимая |
| | 29,0 | 22,7 | 16,1 | 16,1 | 16,1 | | |
| Еланлино, лес | 1,9 | 2,0 | 2,3 | 12,1 | 6,3 | 20,6 | Средняя |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--|------|------|------|------|------|------|------------|
| | 7,7 | 8,1 | 9,3 | 49,3 | 25,6 | | |
| Аркаулово, лес | 1,5 | 1,6 | 1,5 | 8,7 | 6,7 | 16,0 | Слабая |
| | 7,5 | 8,0 | 7,5 | 43,5 | 33,5 | | |
| Аркаулово, луг | 1,1 | 1,8 | 2,2 | 8,6 | 25,0 | 34,7 | Сильная |
| | 2,8 | 4,6 | 5,7 | 22,3 | 64,6 | | |
| Ногуши, луг | 2,0 | 3,4 | 2,9 | - | - | 6,3 | Допустимая |
| | 24,1 | 41,0 | 34,9 | - | - | | |
| Белебеевская платообразная возвышенность | | | | | | | |
| Райманова гора, лес | 1,5 | 1,3 | 2,2 | 4,2 | 1,0 | 6,2 | Допустимая |
| | 14,7 | 12,7 | 21,6 | 41,2 | 9,8 | | |
| Присюньское лесничество, лес | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,8 | 2,4 | 3,4 | >> |
| | 16,2 | 13,5 | 13,5 | 24,4 | 32,4 | | |
| Нарыштау, лес | 2,4 | 1,3 | 2,0 | 1,0 | 2,0 | 4,7 | >> |
| | 27,6 | 14,9 | 23,0 | 11,5 | 23,0 | | |
| Япрыково, пашня (НЗ) | 1,0 | 1,2 | 1,0 | 1,6 | 1,4 | 2,2 | >> |
| | 16,1 | 19,4 | 16,1 | 25,8 | 22,6 | | |
| Япрыково, пашня (К) | 1,0 | 1,1 | 1,4 | 2,0 | 1,2 | 2,7 | >> |
| | 14,9 | 16,4 | 20,9 | 29,9 | 17,9 | | |

*Превышение фоновых значений во сколько раз.

Превышение фоновых значений, %. *Ниже предела обнаружения прибора (0,01 мг/кг). НЗ – нефтезагрязненная почва, К – контроль, незагрязненная почва.

В почвах Юрюзано-Айской предгорной равнины общий уровень нагрузки элементами 2-го класса токсичности заметно различается в зависимости от принадлежности к экосистеме. Самыми низкими суммарными показателями загрязнения характеризуются пахотные почвы (1,0-3,6), самыми высокими – луга (1,3-40,3), промежуточное положение занимают леса (16,0-26,0). Основной вклад в накопление элементов этого класса в почвах всех экосистем в убывающем порядке вносят молибден (13,2-64%), кобальт (4,6-41%), медь (16,7-49,3%). Содержание хрома и никеля в целом незначительно.

В почвах Зауральского пенепплена суммарный показатель загрязнения изменяется от 1,3 до 25,9 ед. Минимальные значения характерны для почв стационара Комсомольское (луг) и Кирябинка (лес), максимальные - Ахуново (лес) и Учалинский ГОК (лес). Вблизи Учалинского ГОКа в почвах почти половину нагрузки среди элементов 2-го класса токсичности, как и следовало ожидать, составляет медь. Доля молибдена (18,2-27,6%) и хрома (15,9-18,2 %) также велика. В почвах стационаров Сафарово, Кирябинка и Ахуново

преимущество имеет хром (41,1-65,1%), относительно высоко в них содержание никеля (18,3-28,5%) и кобальта (7,6-24,4 %).

Почвы Белебеевской платообразной возвышенности по суммарному химическому показателю сильно не различаются и относятся к допустимой категории загрязнения. В то же время основная нагрузка по элементам приходится на медь (24,4-41,2%). Далее в убывающем порядке расположены: молибден (9,8-32,4%), хром (16,1-27,6%), никель (13,5-23%), кобальт (13,5-19,4%). Самыми низкими суммарными показателями загрязнения характеризуются пахотные почвы (2,2-2,7), высокие леса (3,4-6,2).

В целом экологическая обстановка по элементам 2-го класса опасности возрастает в ряду по геоморфологическим районам: Юрюзано-Айская предгорная равнина – Зауральский пенепплен – Уфимское плато – Белебеевская платообразная возвышенность.

Запасы тяжелых металлов (ЗТМ) в полуметровом слое почв в расчете на единицу площади отражают тот потенциальный запас, который используется растениями в процессе их жизнедеятельности. ЗТМ в почве обследованных районов подвержены существенному варьированию (табл. 5). Почвы Юрюзано-Айской предгорной равнины характеризуются высокими запасами кобальта, никеля и хрома, сопоставимыми с запасами Зауральского пенепплена, где ведется добыча цветных металлов (Учалинский ГОК). Также Зауральский пенепплен характеризуется аномально высоким содержанием меди - 1293 кг/га. Почвы Белебеевской возвышенности содержат небольшие запасы меди, никеля и хрома по сравнению с другими районами.

5. Запасы тяжелых металлов в слое почвы 0-50 см, кг/га

| Геоморфологический район | Mo | Cu | Co | Ni | Cr | Sb |
|---|-----|--------|-------|-------|-------|------|
| Уфимское плато, n=7 | 2,9 | 57,5 | 39,4 | 213,2 | 328,9 | 0,6 |
| Юрюзано-Айская предгорная равнина, n=17 | 3,9 | 186,5 | 114,7 | 403,8 | 547,9 | 4,4 |
| Зауральский пенепплен, n= 6 | 3,8 | 1293,4 | 118,5 | 380,1 | 610,6 | 17,8 |
| Белебеевская платообразная возвышенность, n=5 | 0,4 | 164,1 | 45,1 | 371,7 | 229 | 1,2 |

Примечание. n – количество разрезов.

Таким образом, основные запасы в полуметровом слое сосредоточены в Юрюзано-Айской предгорной равнине и Зауральском пенепплене.

Выводы. 1. Средняя концентрация тяжелых металлов в почвах Южного Урала колеблется в широких пределах (мг/кг): молибдена 0,1-0,5, меди 10-194,7, кобальта 6,8-18,6, никеля 37-66,9, хрома 39,1-96,3, сурьмы 0,1-2,8.

2. Потенциально доступные для растений запасы тяжелых металлов в полуметровом слое почв в расчете на 1 га составляют: молибдена 0,4-3,9 кг, меди 57,5-1293, кобальта

39,4-114,7, никеля 213,2-403,8, хрома 229-610,6, сурьмы 0,6-17,8 кг. Почвы Зауральского пенепплена характеризуются высокими запасами меди, кобальта, никеля и хрома, где организована добыча цветных металлов (Учалинский ГОК). Почвы Белебеевской возвышенности отличаются от почв других округов небольшими запасами молибдена - 0,4 кг/га, сурьмы - 1,2 кг/га. Юрюзано-Айская предгорная равнина также выделяется высокими запасами элементов, хотя горно-рудная промышленность в районе отсутствует.

3. Негативная экологическая обстановка по элементам 1-го класса опасности возрастает в ряду по геоморфологическим районам: Белебеевская платообразная возвышенность – Уфимское плато – Зауральский пенепплен – Юрюзано-Айская предгорная равнина.

4. Данные по содержанию и запасам тяжелых металлов рекомендуется использовать при составлении экологических паспортов почв конкретных хозяйств и населенных пунктов. Выделены ареалы элементарных агроландшафтов по геохимическим округам Республики Башкортостан по категориям загрязнения с указанием территорий, где есть возможность производить экологически безопасную продукцию в рамках ВТО.

Литература

1. *Агрохимические* методы исследования почв. - М.: Наука, 1975. – 656 с.
2. *Ариунушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. - М.: Изд-во МГУ, 1970. - 488 с.
3. *Бондарев Л.Г.* Ландшафты, металлы и человек. - М., 1976. - 72 с.
4. *Владимиров К.В., Лукманов А.А., Бектимиров Р.И.* Содержание тяжелых металлов в почвах Республики Татарстан и экологическая роль регуляторов роста при возделывании картофеля. // Плодородие. - 2014. - №3 (78). - С. 45-47.
5. *Водяницкий Ю.Н.* Учет геохимических особенностей территории и погодных условий при нормировании тяжелых металлов в почвах // Агрохимия. - 2014. - №2. - С. 66-72.
6. *Водяницкий Ю.Н.* Экотоксикологическая оценка опасности тяжелых металлов и металлоидов в почве // Агрохимия. - 2012. - №2. - С. 75-84.
7. *Водяницкий Ю.Н.* Природные и техногенные соединения тяжелых металлов в почвах // Почвоведение. - 2014. - №4. - С. 420-432.
8. *Водяницкий Ю.Н.* Хром и мышьяк в загрязненных почвах (обзор литературы) // Почвоведение. - 2009. - №5. - С. 551-559.
9. *Волкова Е.С.* Содержание тяжелых металлов в пропашных культурах на дерново-карбонатной почве с разными уровнями удобренности // Плодородие. - 2014. - №5 (80). - С. 38-41.
10. *Гигиенические* нормативы ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно-допустимые концентрации химических веществ в почве» - М., 2006.-7 с.
11. *Глинка Н.Г.* Общая химия.-М.: Химия, 1978. – 580 с.
12. *Гринвуд Н., Эрншо А.* Химия элементов. -М.: Бином, 2008.- Т.1. - 607 с. Т.2 - 670 с.
13. *Глазовская М.А.* Методологические основы оценки эколого - геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. Методическое пособие. -М.: Изд-во Московского ун-та, 1997. -102 с.
14. *Добровольский В.В.* Основы биогеохимии. - М.:ACADEMIA, 2003. - 396 с.
15. *Корчагина К.В., Смагин А.В., Решетина Т.В.* Оценка техногенного загрязнения городских почв на основе профильного распределения тяжелых металлов и плотности сложения // Почвоведение. - 2014. - № 8. - С. 988-997.
16. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. - М.: Мир, 1989. - 439 с.
17. *Кашин В.К.* Особенности накопления микроэлементов степной растительности западного Забайкалья // Агрохимия. - 2014.- №6. - С. 69-76.

18. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. - М.: Наука, 1985. - 262 с.
19. Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологический мониторинг почв. - М.: Гаудеамус, 2007. - 237 с.
20. Нестерова О.В., Трезубова В.Г., Семаль В.А. Использование нормативных документов для оценки степени загрязнения почв тяжелыми металлами // Почвоведение. - 2014. - №11. - С. 1375-1380.
21. Просяников В.И. Эколого-геохимическая характеристика почв пашни Юго-востока западной Сибири по содержанию тяжелых металлов //Плодородие. - 2014.- №5 (80). - С. 38-41.
22. Смольянинов Н.А. Практическое руководство по минералогии. - М.: Недра, 2-е изд, 1972. - 360 с.
23. Суяндукоев Я.Т., Семенова И.Н., Зулкарнаев А.Б., Хабиров И.К. Антропогенная трансформация почв города Сибай в зоне влияния предприятий горнорудной промышленности.-Уфа.: АН РБ, Гилем, 2014.-124 с.
24. Требования к геохимической основе государственной геологической карты российской Федерации (новая редакция). - М.: Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, 2005. - 28 с.
25. Феценко В.П. Содержание меди в почвах Новосибирской области //Плодородие. - 2013. -№5 (74). - С. 40-41.
26. Хазиев Ф.Х. Экология почв Башкортостана.- Уфа.: АН РБ, Гилем, 2012.-312 с.
27. Холодов В.А., Кирюшин В.А., Ярославцева Н.В., Фрид А.С. Связывание меди (II) необратимо сорбированными на каолините и свободными гуминовыми веществами // Почвоведение. - 2014. - №7. - С. 803-811.
28. Чернова О.В., Бекецкая О.В. Допустимые и фоновые концентрации загрязняющих веществ в экологическом нормировании (тяжелые металлы и другие химические элементы) // Почвоведение. - 2011. - №9. - С. 1102-1113.

HEAVY METALS OF HAZARD CLASS 2 IN THE SOILS AND ROCKS OF THE SOUTHERN URALS: RESERVES AND POLLUTION ASSESSMENT

I.G. Asylbaev, Bashkir State Agrarian University

ul. 50-letiya Oktyabra, Ufa, 450001 Bashkortostan Republic, Russia, 8(347) 278-56-11, 8-927-308-33-30, E-mail: ilgiz010@yandex.ru

The content and distribution of heavy metals of hazard class 2 (chromium, cobalt, nickel, copper, molybdenum) in soil profiles of forest, meadow, and agroecosystems of the Southern Urals were determined. A database of the concentrations of chemical elements was created; ecological evaluation of total chemical contamination was performed, and the element reserves in the 0- to 0.5-m layer of soil were calculated. It was found that the accumulation of elements decreases in the series: molybdenum > copper > chromium.

Keywords: heavy metals, contents, distribution, reserves of chemical elements, Bashkortostan, Southern Urals.