

Содержание тяжёлых металлов в сырье тысячелистника обыкновенного в зоне влияния Гайского горно-обогатительного комбината

Н.Ф. Гусев, д.б.н., профессор, А.В. Филиппова, д.б.н., профессор, ФГБНОУ ВО Оренбургский ГАУ; В.В. Трубников, к.т.н., филиал ФГБОУ ВПО РГУ нефти и газа в г. Оренбурге; О.Н. Немерешина, к.б.н., ГБОУ ВПО Оренбургский ГМУ

Важным источником отрицательного воздействия на живые системы являются отходы предприятий цветной металлургии, в том числе и выбросы горнодобывающей промышленности [1, 2]. В этом отношении Оренбургская область – не исключение, так как наличие медноколчеданных месторождений способствовало бурному развитию горнодобывающей и рудоперерабатывающей промышленности на её территории. Оренбургская область относится к индустриально развитым регионам, где значительные площади пахотных почв испытывают существенные влияния техногенного загрязнения этими металлами [3, 4]. Следует признать, что вопросы, связанные с накоплением подвижных форм свинца, кадмия и ртути в почвах, изучены недостаточно.

Цель нашего исследования – изучение особенностей накопления и распределения тяжёлых металлов в почвенном покрове и сырье лекарственных растений Гайского района Оренбургской области в условиях техногенного воздействия (рис. 1).

Объекты и методы исследования. Гайский горно-обогатительный комбинат (Гайский ГОК) – крупнейшее горно-добывающее предприятие Урала, занимает 2-е место в России по добыче меди. С 1999 г. Гайский ГОК входит в состав Уральской горно-металлургической компании и является основной сырьевой базой холдинга. Гайское медноколчеданное месторождение расположено в восточной части Оренбургской области на территории Гайского района в 300 км восточнее Оренбурга. Месторождение залегает в степной части Южного Урала, рассечённой широкими долинами, оврагами, и приурочено к водоразделу правобережных притоков рек Урала, Елшанки и Колпачки. Р. Урал протекает в 18 км к востоку от месторождения.

Комбинат добывает медную, медно-цинковую и серную руды. Добыча ведётся на подземном и открытом рудниках. Большая часть добытой руды перерабатывается на гайской обогатительной фабрике. Кроме меди руда месторождения

содержит в своём составе цинк, свинец, серу, золото, серебро в промышленных концентрациях, а также редкие и рассеянные элементы: кадмий, селен, теллур, галлий, висмут. Помимо основного производства в состав предприятия входят собственный автотранспортный, железнодорожный, ремонтно-строительный и энергетический цехи, а также ремонтно-механический завод.

На предприятии функционирует система экологического мониторинга, включающая контроль, паспортизацию и оценку состояния всех стационарных и передвижных источников загрязнения атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, отходов производства, санитарно-гигиенические условия труда. Основное количество отходов на комбинате образуется в процессе добычи и переработки руды и представлено вскрышными породами и хвостами обогащения. Вскрышные породы, как правило, размещаются во внутренних отвалах в карьерах, частично перерабатываются в строительный щебень и используются для отсыпки дамб и плотин. В 1997 г. пущены в эксплуатацию два пруда-накопителя для сбора кислой подотвальной воды отвалов карьеров № 1 и 2, что позволило предприятию прекратить сброс сточных вод в р. Колпачку и Урал.

Процессы техногенеза при добыче и обогащении руд ведут к загрязнению окружающей среды, в том

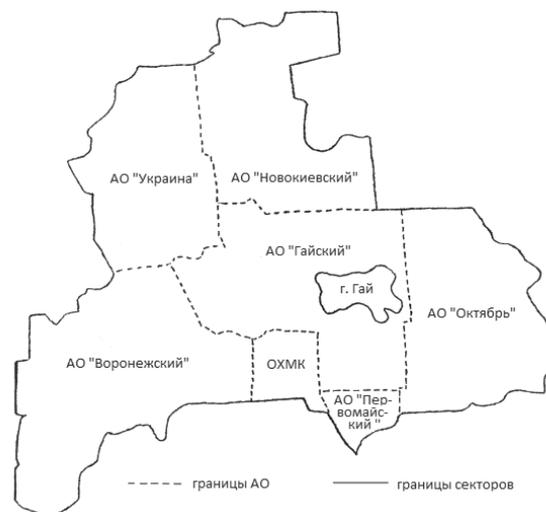


Рис. 1 – Схема Гайского района [5]

числе загрязнению почв, сернокислыми соединениями тяжёлых металлов в зоне влияния Гайского ГОКа [2, 6], что ставит под угрозу благосостояние общества [7, 8]. Тяжёлые металлы представляют большую опасность для здоровья населения в силу своей токсичности и способности мигрировать в системе «почва—растение—человек».

Большинство тяжёлых металлов можно отнести к биогенным микро- и ультрамикроэлементам [4, 5, 8], и употребление терминов «тяжёлые металлы» и «микроэлементы» определяется их концентрацией в организмах и окружающей среде [2, 4]. Главными факторами, определяющими концентрацию элементов в тканях растений, считаются: 1) уровень содержания элемента в почвенном покрове; 2) количество биодоступной формы элемента в почве; 3) видовая принадлежность растения, фаза его развития и распределение элемента по органам; 4) адаптация растений к данным геохимическим условиям [8]. Одним из самых мощных факторов, определяющих элементный состав растений, является воздействие промышленных предприятий [7, 9]. Большая часть, поглощённых растениями тяжёлых металлов аккумулируется в тканях корня, что является одним из механизмов защиты надземных органов растений [8].

Поэтому нашей задачей является определение содержания тяжёлых металлов в надземных органах растений тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.), собранного на техногенных и контрольных участках, и в почве.

Материал и методы исследования. Растения рода тысячелистник (*Achillea*) семейства астровых (*Asteraceae*) имеют обширный ареал в Оренбургской области. Значительное число видов указанного рода широко применяется в фитотерапии [10]. Одним из распространённых видов является тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), представляющий собой многолетнее травянистое растение. Сырьё (трава) тысячелистника обыкновенного, обладая бактерицидными, кровоостанавливающими и противовоспалительными свойствами, широко применяется в народной медицине и ветеринарии в России и зарубежных странах [3].

Механизмы адаптации тысячелистника к воздействию техногенных загрязнителей, в том числе тяжёлых металлов, до сих пор не выявлены. Оценка

содержания микроэлементов в надземной части тысячелистника актуальна с позиции оценки качества лекарственного растительного сырья, заготовки кормов, а также оценки возможностей фиторемедиации.

Растительное сырьё *A. millefolium* и образцы почвенного покрова собраны нами на территории санитарно-защитной зоны Гайского горно-обогатительного комбината (Гайский ГОК). Растительное сырьё (трава) *A. millefolium* было собрано в период цветения (конец июня – начало июля) 2012 г., в количестве не менее 20 экз. с трёх учётных площадок. Определение элементного состава проводили методом атомной абсорбционной спектроскопии в Межкафедральной комплексной лаборатории Оренбургского государственного аграрного университета.

Элементный анализ растительного сырья, собранного на территории ГОКа, позволил выявить некоторые особенности накопления тяжёлых металлов в надземной части тысячелистника обыкновенного.

Результаты исследования. Концентрация меди в надземной части *A. millefolium* на территории Гайского ГОКа превышает контрольные показатели (табл.). В исследуемых растениях наблюдается биоконцентрация меди, что обусловлено её участием в обмене веществ [11]. При недостатке меди снижается продуцирование в тканях растений белков, полифенольных соединений, пигментов, ауксинов, некоторых витаминов, сапонинов и алкалоидов [8]. Отмеченная нами биоконцентрация меди в тканях тысячелистника более выражена в контрольной зоне, что, вероятно, объясняется повышенным содержанием данного элемента в почвах исследуемой техногенной зоны.

Содержание кобальта в надземной части растений тысячелистника контрольной и техногенной зон отличается незначительно, что указывает на способность растений регулировать поступление кобальта из почвы [11]. Кобальт принимает участие в симбиотической фиксации азота, фосфорилировании, входит в состав витамина B12 и некоторых других кислородсвязывающих соединений. [2], высказываются предположения о стимулировании этим элементом процесса оплодотворения [8].

Содержание цинка в почвах окрестностей ГОКа превышает контрольные показатели приблизительно

Содержание тяжёлых металлов в надземной части тысячелистника обыкновенного, мг/кг

Точка сбора сырья	Объект	Cu	Co	Zn	Cr	Mn	Ni	Pb	Cd
Гайский ГОК	трава	55,12	1,90	32,4	3,02	55,05	3,00	0,14	0,07
	почва	12,4	6,50	66,1	39,9	571,8	40,5	73,9	0,50
Коэффициент биологического накопления		3,6	0,29	0,49	0,08	0,09	0,07	0,001	0,14
Фоновые значения	трава	36,90	1,30	23,3	1,50	8,00	1,08	0,03	0,02
	почва	0,40	3,82	22,2	5,33	110,0	15,1	15,0	0,06
Коэффициент биологического накопления		26,36	0,34	1,05	0,28	0,07	0,07	0,002	0,33

но в 3 раза. Для цинка у растений тысячелистника на территории ГОКа отмечен физиологический барьер, а на контрольных участках — явление биоконцентрации элемента, что согласуется с литературными данными по Оренбургской области [11]. Указанное вполне объяснимо с точки зрения биогенности цинка и его способности принимать участие в реакции Фентона [4].

Результаты исследования указывают на существование физиологического барьера, препятствующего избыточному накоплению хрома в надземной части растений тысячелистника (табл.). Физиологическая роль хрома в растениях изучена недостаточно, предполагается его участие в фотосинтезе и продуцировании флавоноидов [11].

Результаты исследования показали, что концентрация марганца в почвах в окрестностях ГОКа значительно превышает контрольные показатели. Коэффициент транслокации марганца в надземной массе тысячелистника на территории ГОКа составляет 55,05/571,8, а в контрольной зоне — 8,00/110,0. Таким образом, выявлено существование физиологического барьера, препятствующего накоплению марганца в ассимилирующих и генеративных органах тысячелистника до фитотоксичных концентраций. Марганец является биогенным элементом, принимающим участие в окислительно-восстановительных процессах клетки и при некоторых условиях способен проявлять радикалинизирующее действие [11].

Результаты количественного определения содержания никеля в растениях тысячелистника техногенных и фоновых участков также указывает на существование физиологического барьера. Никель оказывает неспецифическое действие на целый ряд металлоферментных комплексов, участвуя, таким образом, в процессах обмена, но при некоторых условиях оказывает цитотоксическое действие [6, 11].

Основными фитотоксикантами среди анализируемых нами элементов считаются свинец и кадмий [8], не проявляющие биогенности, но отличающиеся высокой токсичностью и темпами накопления в среде. Соединения свинца малорастворимы, что до некоторой степени ограничивает его биодоступность для растений. Для тысячелистника характерны коэффициенты транслокации свинца в системе «почва—растение» на территории ГОКа (0,14/73,9), что свидетельствует о наличии физиологического барьера.

Кадмий, вторгаясь в процессы метаболизма растений, нарушает работу ферментных систем [8, 11]. Коэффициенты транслокации для данного элемента составляют на территории ГОКа — 0,07/0,50 и в контроле — 0,02/0,06 (табл.). Таким образом, физиологический барьер присутствует и в отношении кадмия, но несколько менее выражен по сравнению со свинцом.

Характер накопления тяжёлых металлов в надземной части растений тысячелистника обыкновенного показывает неодинаковый уровень накопления для эссенциальных и токсичных элементов. Результаты исследования надземной части тысячелистника и образцов почвы в зоне влияния ГОК позволили распределить коэффициенты транслокации (растение/почва) исследуемых элементов в ряд по убыванию (среднее значение): $Cu > Zn > Co > Cd > Mn > Cr > Ni > Pb$ (табл.). В контрольной зоне коэффициенты транслокации располагаются в ряд по убыванию следующим образом: $Cu > Zn > Co > Cd > Mn > Cr > Ni > Pb$ (табл.). Для большинства элементов (Zn, Co, Cd, Mn, Cr, Ni, Pb) нами выявлен выраженный физиологический барьер, препятствующий их поступлению к ассимилирующим и генеративным органам растений в зоне влияния ГОКа. В контрольной зоне биологическое накопление выявлено не только для меди, но и для цинка (табл.). Значения коэффициентов биологического накопления в контрольной зоне повышены для всех изучаемых элементов.

Вывод. Растения тысячелистника способны к регуляции потока тяжёлых металлов, что позволяет им, с одной стороны, активно противостоять избыточному поступлению токсичных элементов и с другой стороны — избирательно кумулировать эссенциальные элементы.

Литература

1. Алексеев Ю.В. Тяжёлые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 141 с.
2. Немерешина О.Н., Гусев Н.Ф., Чукова Н.В. и др. Особенности накопления эссенциальных и токсических элементов в надземной части *Linaria vulgaris* L. на шламовом поле криолитового производства // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 12 (131). С. 222–224.
3. Гусев Н.Ф., Петрова Г.В., Филиппова А.А. и др. Перспективы использования лекарственных растений в современной России // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 2 (46). С. 167–170.
4. Tinkov A.A. Mercury and metabolic syndrome: a review of experimental and clinical observations. / A.A. Tinkov, O.P. Ajsuvakova, M.G. Skalnaya, E.V. Popova, A.I. Sinitkii, O.N. Nemereshina, A.V. Skalny // *BioMetals*, 2015. 28(2), 231–254.
5. Калиев А.Ж., Артамонова С.В. О состоянии природных экосистем Гайского экорайона // Вестник Оренбургского государственного университета. 2006. Т. 2. С. 16–20.
6. Авдеев В.И. Проблемы термодинамической устойчивости степеней // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2014. № 4 (12). С. 7–13.
7. Алферова Н.С. Теоретические основы, методы исследований и защиты гидросферы горнорудных районов Оренбуржья: автореф. дисс.... канд. техн. наук. Пермь, 2006. 20 с.
8. Шагиева Ю.А. Медь в чернозёмах и кормовых культурах башкирского Зауралья // Состояние биосферы и здоровье людей: сб. матер. Междунар. науч.-практич. конф. 27–28 ноября 2001 г. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2001. С. 94–96.
9. Евдокимова Р.С., Юткина И.С., Каримова А.З. Распределение некоторых элементов в почве и тканях крапивы двудомной (*Urtica dioica*) // Приволжский научный вестник. 2014. № 11–1 (39). С. 23–25.
10. Дрогайцева А.А., Петрова Г.В. Накопление тяжёлых металлов в экосистеме «почва — растения» *Melampyrum arvense* L. степной зоны оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 6 (50). С. 144–146.
11. Немерешина О.Н., Гусев Н.Ф., Филиппова А.В. Содержание микроэлементов и низкомолекулярных антиоксидантов в чае // Химия растительного сырья. 2014. № 2. С. 155–168.