

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЭКОСИСТЕМЫ ГОРНОРУДНЫХ РАЙОНОВ ВОСТОКА БАШКОРТОСТАНА

Сформировавшееся в экологии понятие об экофизических аномалиях включает собственно физические и геохимические аномалии как природного, так и искусственного происхождения. Естественные источники экогеохимических аномалий обусловлены геологическими факторами (рудные залежи, глубинные разломы, вулканические выбросы, деятельность гейзеров и т.п.), тогда как искусственные имеют техногенную природу. Проявление подобных аномалий имеет свои особенности: ореолы рассеяния элементов, к примеру, обусловленные рудными объектами, приурочены к месторождениям (используются в поисковых работах), тогда как техногенные ореолы зависят от способов добычи, переработки и перевозки руд, размещения мест складирования рудных концентратов, отходов и многих других причин. При открытой добыче полезных ископаемых изменяется рельеф местности, происходит механическое, химическое, физическое преобразование геологической среды в результате перемещения, зачастую, громадных объемов пород, осушения водоемов, заболачивания почв, рассеяния полезных ископаемых на другие территории. Считается, что при открытой разработке рудных месторождений глубинные породы разносятся при буровзрывных работах на расстояние свыше 50 км в радиусе от карьера. Формируются поверхностные водотоки карьерных вод, меняются площади водосбора. Особую опасность создают хвостохранилища. При сближенном расположении рудных объектов и горноперерабатывающих предприятий техногенные геохимические аномалии совмещаются с естественными, усугубляя экологическое неблагополучие в богатых минеральными ресурсами регионах. Нарушается баланс естественного распределения вещества между литосферой, атмосферой, гидросферой.

Наши исследования относятся к Учалинскому, Баймакскому и Хайбуллинскому районам Республики, рудные месторождения которых составляют основу сырьевой базы цветной металлургии Южного Урала. Так, только в Учалинском районе на площади 4,5 тыс. км² сосредоточены месторождения медно-цинково-колчеданных руд (крупнейшее на Урале Учалинское, Ново-Учалинское, Озерное, Западно-Озерное, несколько месторождений меньших размеров, а также рудопроявлений), известно более двух десятков небольших месторождений (Калкановское, Красовское, Черный Столб и др.) и рудопроявлений хромитовых

руд, столько же марганцевых и железо-марганцевых месторождений и рудопроявлений (Кожаевское, Кураминское, Сулеймановское, Сарбайское, Малые Учалы и др.), ряд месторождений золото-сульфидных руд (Муртыктинское, к настоящему времени отработанное Миндякское, Малый Каран, Карагайлинское, Ик-Давлят и др.). Северное Зауралье Башкортостана богато месторождениями и проявлениями поделочных камней: яшм, серпентинита, нефрита, родонита и др.

В рассматриваемом регионе, помимо медно-цинково-колчеданных, в целом сосредоточено более 50 небольших хромитовых месторождений и рудопроявлений, более 65 марганцевых и железо-марганцевых, более 230 золоторудных. Кроме того, известно несколько месторождений и рудопроявлений никеля и кобальта, небольших месторождений медно-магнетитовых руд. Учалинский ГОК, производящий медный, цинковый, пиритовый концентраты, входит в первую пятерку ведущих горнорудных предприятий России. Другими наиболее крупными предприятиями отрасли являются Башкирский медно-серный комбинат, Бурибайский ГОК. Главными поставщиками руды для названных комбинатов являлись Учалинский карьер — крупнейший на Урале (проектная площадь поверхности карьера составляла 89,2 га, площадь подошвы — 6,9 га при глубине до 280 м, действительная глубина составила 348 м) [Абдрахманов и др., 1999] и Сибайский карьер. На УГОК транспортируются также медно-цинково-колчеданные руды расположенных поблизости месторождений Челябинской области (Чебачье, Молодежное, Узельгинское, Талганское).

Горнорудные районы востока Башкортостана представляют пример территориальной сближенности большого числа рудных объектов разных видов полезных ископаемых и сети крупных предприятий по их добыче и переработке. Влияние естественных источников экогеохимических аномалий усилено неизбежно возникающими в данных условиях техногенными аномалиями. Руды всех колчеданных месторождений региона в качестве сопутствующих элементов содержат примеси: мышьяк (на Учалинском месторождении от 0,12 до 0,18%), сурьму (учалинские руды 0,6–0,07%), ртуть (от 4–5 до 37 г/т), фтор (0,01–0,005%), селен, теллур, кобальт, никель, свинец и др. Интенсивное развитие горнодобывающей промышленности привело к значительному загрязнению окружающей среды, что проявляется,

в частности, в накоплении вредных химических элементов в растительности, произрастающей на загрязненных вблизи месторождений почвах.

В словаре по толкованию терминов природопользования, экологии и охраны окружающей среды дается следующее определение *загрязнения*: все то, что находится не в том месте, не в то время и не в том количестве, какое естественно для природы, что выводит ее системы из состояния равновесия и отличается от обычно наблюдаемой нормы [Снакин, 2001].

Химические элементы, содержащиеся в воздухе, воде, растительности, почве «не в то время и не в том количестве» губительны для природы, так как данные виды загрязняющих веществ (токсикантов, поллютантов) не участвуют в процессе самоочищения: они могут мигрировать, меняя концентрацию, переходить в иные формы, совершать кругооборот, но не исчезать. Объективная оценка вредного воздействия основных и сопутствующих компонентов руд на качество окружающей среды, в частности на почвы, особенно затруднена из-за комплексного влияния многих неблагоприятных факторов: накопления элементов, обусловленных геохимическими особенностями пород-почвообразователей, техногенных загрязнений, изменения структуры почв в результате воздействия вибраций, потери влаги и т.п.

Вероятно, этим объясняется тот факт, что число утвержденных по ГОСТу предельно допустимых концентраций (ПДК) для почв ограничено (по некоторым данным отсутствуют нормативы ПДК по 99,98% загрязняющих веществ), для водоемов аналогичных норм значительно больше. К фитотоксичным элементам, для которых выявлены минимальные вредные концентрации, относятся: Al, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd.

Изучением загрязнения почв и растительности Башкортостана с учетом литологической характеристики региона по программе Экологической научно-технической ассоциации (ЭНТАС АН РБ) занимался ряд ученых: Н.В. Старова, А.Х. Мукатанов, З.Х. Шигапов и др [Старова и др., 1997, 1998, 2001]. Исследованиями в Учалинском районе было установлено, что из древесных пород чувствительной и быстро реагирующей на загрязнение среды считается сосна, которая рассматривается как своеобразный фиточистильник, накапливающий многие ядовитые металлы. Степень устойчивости сосны к действию вредных элементов Н.В. Старовой и А.Х. Мукатановым оценивалась через мертвую кору, поскольку метод позволяет выявить уровень долговременных загрязнений.

Нами изучалось накопление ряда элементов (Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Pb, As, Se, Te, Sn, Bi, Sr, Ba, Be, Tl, U, Th, в отдельных пробах Hg) в различных частях деревьев (берез и сосен), произрастающих в пределах рудных зон золото-

рудного месторождения Малый Каран, железомарганцевого Южно-Файзуллинского, хромитового Красовского, а также в почвах под деревьями (Южно-Файзуллинское, Красовское), вблизи Учалинского карьера (в березняке). Для сравнения аналогичным образом были проанализированы деревья и почва из «чистой зоны» в 100 м от оз. Узун-Куль.

Анализы были выполнены методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой ICP-MS (PLASMA QUAD) из воздушно-сухого вещества корней, стволов, кор (живой и отмершей), листьев (или хвойных игл), подготовленных проб почв. Для оценки степени загрязнения почв использовались сравнительные коэффициенты: коэффициент опасности токсичного элемента, показывающий меру превышения его ПДК (определяется по величине отношения концентрации элемента к ПДК); коэффициент контрастности, показывающий превышение концентрации элемента относительно местного геохимического фона. В случае, когда коэффициент контрастности больше единицы, можно говорить о техногенном загрязнении почвы. Результаты анализа (табл. 1) показывают, что в наибольшей степени по сравниваемым элементам (для них известны стандартные ПДК) загрязнены почвы с территории УГОКа, причем, накопление тяжелых металлов в почвах (кроме свинца) обусловлено, главным образом, естественными аномалиями, тогда как загрязнение свинцом носит преимущественно техногенный характер.

Качественно оценить загрязнение почв изучаемого региона можно по валовым концентрациям токсичных элементов (табл. 2). Следует отметить, что везде проявляется специфика загрязнения, а «условно чистые» почвы близ оз. Узун-Куль по содержанию особенно опасных бериллия, мышьяка, таллия, теллура не уступают образцам с рудного поля Красовского месторождения.

В древесных породах выявлены следующие особенности распределения поглощенных элементов. Для краткости в тексте после элемента указывается название месторождения, на рудном поле которого произрастает дерево.

Корень березы. Корневая часть дерева концентрирует марганец (Южно-Файзуллинское), свинец (Малый Каран), кобальт и никель (Красовское, Южно-Файзуллинское). В корнях везде установлены Sr и Ba в близких концентрациях по всем рудным объектам, исключая Красовское месторождение. Отдельно стоит охарактеризовать накопление Zn. Во всех анализировавшихся корнях обнаружен Zn, даже там, где в почве он не установлен (оз. Узун-Куль, Красовское). При этом в корне искривленного дерева «на руде» содержание цинка (1420 ppb) на порядок выше, чем в корнях берез с других объектов (рис. 1). В незначительных количествах в корне содержатся Cd, Bi, U, Th. Такие элементы,

Химическое загрязнение почв горнорудных регионов Башкортостана

Место отбора образцов почв	Cr			Hg			Pb			Cu		
	C*	K _o **	K _к ***	C	K _o	K _к	C	K _o	K _к	C	K _o	K _к
Рудное поле Красовского хромитового месторождения	7,35	147					0,0092	0,0004		0,057	0,0017	
Рудное поле Южно-Файзуллинского железно-марганцевого месторождения	0,38	7,6					0,043	0,002		0,166	0,005	
Окрестности оз. Узун-Куль	0,657	13,1					0,0099	0,0005		0,077	0,002	
Рудное поле Учалинского медно-цинково-колчеданного месторождения (вблизи карьера)	36,50	730,0	0,97	0,03	0,014	0,5	4,85	0,242	~4,8	425,0	12,9	1,30
Рудное поле Учалинского медно-цинково-колчеданного месторождения (лес)	46,50	930,0	1,25	0,02	0,0009	0,33	94,0	47	~94	509,0	14,4	1,56
Значения ПДК элементов в почве, мг/кг	0,05			2,1			20			33–132****		

C* — концентрация загрязняющего элемента, мг/кг; K_o** — коэффициент опасности загрязняющего вещества; K_к*** — коэффициент контрастности; 33–132**** — ОДК для меди в почве.

Содержание элементов в почвах горнорудных регионов Башкортостана

Место отбора образцов почв	Концентрация элементов, ppb									
	Be	Cd	As	Tl	Ni	Co	Ba	Te	Mn	Zn
Рудное поле Красовского хромитового месторождения	0,58	0,13	10	0,13	937	125	98	0	1410	0
Рудное поле Южно-Файзуллинского железно-марганцевого месторождения	1,1	1,1	28	0,28	0	25	263	0,17	4260	242
Окрестности оз. Узун-Куль	0,85	0,14	20	0,30	0	29	111	0,14	1540	0

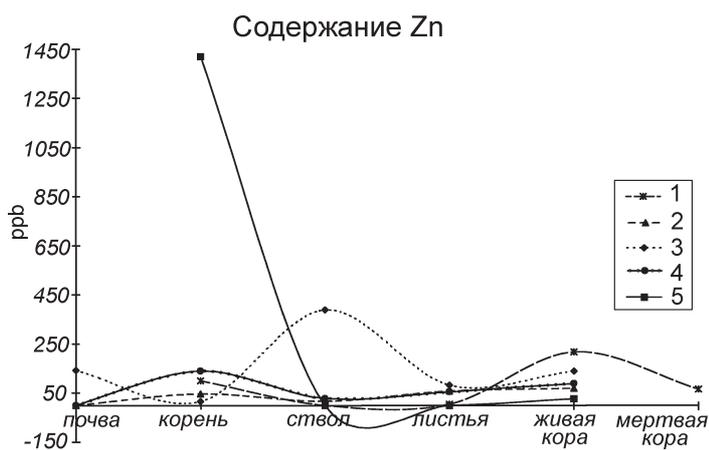


Рис. 1. Особенности накопления цинка в различных частях деревьев березы

1 – М.Каран; 2 – Узун-Куль; 3 – Южно-Файзуллинское; 4 – Красовское (на руде)

на не содержащих цинк почвах, в стволе или совсем не обнаружен Zn (Красовское, Малый Каран), или же имеется незначительная его концентрация (оз. Узун-Куль), в противоположность повышенным содержаниям в корне и коре. Там, где почва загрязнена цинком, ствол (по сравнению с другими частями дерева) имеет наивысшую концентрацию Zn (Южно-Файзуллинское).

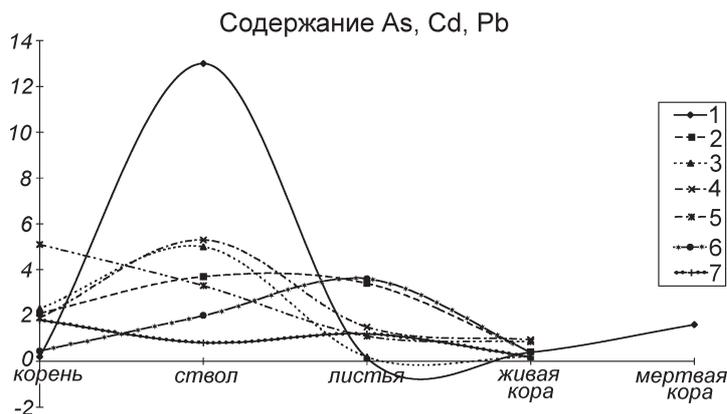
Некоторые элементы, несмотря на их высокое содержание в почве, не концентрируются в стволе: Mn (Южно-Файзуллинское), Cr (Красовское) (рис. 3). К элементам, незначительно накапливающимся в стволе, относятся: Pb (Южно-Файзуллинское, Красовское), Zn (Красовское), Mn (Малый Каран, Красовское), Cu (Красовское, Южно-Файзуллинское), Ba (Малый Каран, Южно-Файзуллинское, Красовское), V (Малый Каран,

как Be, Tl, Sb в корне березы не накапливаются совсем.

Ствол березы. Тенденция накопления в стволе березы проявляется для Cd (Малый Каран, Красовское, в меньшей степени Южно-Файзуллинское) (рис. 2), Sn (Малый Каран, Красовское), повышено содержание As (Южно-Файзуллинское). Особенности накопления Zn: у деревьев, произрастающих

Рис. 2. Содержание As, Cd, Pb в различных частях деревьев березы

1 – М.Каран (Cd); 2 – Южно-Файзуллинское (Cd); 3 – Красовское (Cd); 4 – Южно-Файзуллинское (As); 5 – Красовское (As); 6 – Южно-Файзуллинское (Pb); 7 – Красовское (Pb)



Южно-Файзуллинское, Красовское), Bi (Красовское, Малый Каран).

В стволе берез не обнаружены следующие элементы: Be, Sb (относится ко всем объектам), Ni, Bi, Zn (Малый Каран), Pb, Tl, Th (оз. Узун-Куль), As, Tl, Ni, Zn (Красовское, дерево «на руде»). В **стволе сосны** (анализировался только ствол дерева, растущего на территории Южно-Файзуллинского месторождения) концентрируются такие элементы как Ni, Cd, Zn, Sn, Sr. Ряд элементов: Mn, Cr, Cu, V, Bi — накапливается в стволе, но в меньших концентрациях, чем в хвое или коре. Равномерно распределены в стволе, коре и хвое сосны такие элементы, как As, Tl, Ag, Ba. Не обнаружены в стволе сосны Be, Sb, U.

Кора березы. Живая кора была проанализирована у деревьев со всех объектов; у березы (Малый Каран) изучалась также и мертвая кора. Измерения показали, что мертвая кора березы содержит Mn, Cr, As, Cu, V, Th больше, чем живая кора, ствол и корень.

Содержание Be, Pb, Cd, V, Bi, Sn в мертвой коре выше, чем в живой. Для таких элементов, как Ba, Sr, Zn, Ag, соотношение концентраций противоположное. В живой и мертвой коре березы не установлены Ni, Sb, S.

В мертвой **коре сосны** (Малый Каран) накапливаются Sr, Cr, As, Cu, Cd, Ba, V, Sn, Th, U. По сравнению с корой березы (Малый Каран), неодинаков характер распределения Mn: в живой коре сосны содержание Mn выше, чем в мертвой. В обоих видах коры сосны не обнаружены следующие элементы: Be, Ni, Zn, Sb, S (Малый Каран). В живой коре сосны (Южно-Файзуллинское) не обнаружены Be и Sb.

Крона. Листья березы. Выявлено, что отдельные элементы концентрируются в листьях: марганец (Малый Каран, Южно-Файзуллинское, в других местах содержания Mn тоже повышены) (рис. 3); концентрация хрома в листьях практически везде выше, чем в ос-

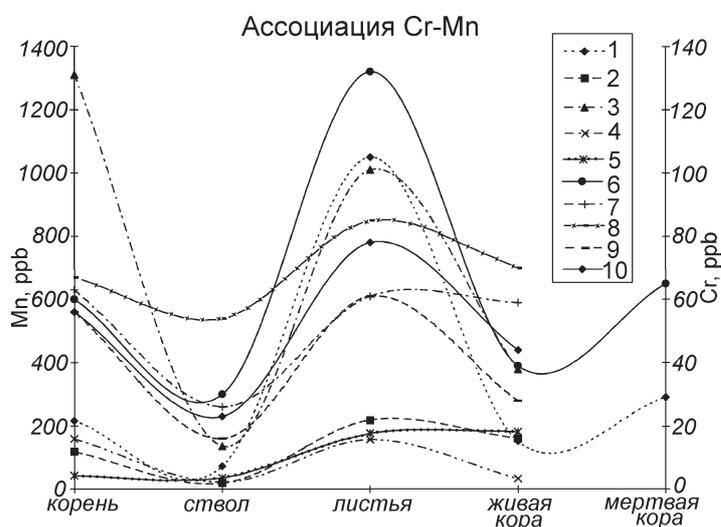
тальных частях деревьев. В листьях берез выявлена максимальная концентрация меди (Малый Каран и Красовское «на руде»), свинца (Южно-Файзуллинское и Красовское «на руде»), серебра (Красовское), стронция и висмута (Малый Каран). Невысоки в листьях концентрации Co, Cd (за исключением Южно-Файзуллинского), As, Tl, Bi. Не обнаружены в листьях следующие элементы: Be, Ni, Th (Малый Каран, Красовское «на руде»), Zn (Красовское «на руде»), Sb — для всех объектов.

В **хвое сосны** концентрирование элементов в чем-то сходно с накоплением в листьях березы: повышенные концентрации Mn (Малый Каран, Южно-Файзуллинское), Zn (Южно-Файзуллинское), Pb (Малый Каран); незначительны содержания Co, Cd, V, Sn; отсутствуют Be, Tl, Ni (Малый Каран), Sb. Существенно различается накопление Cr: в иглах сосны, в отличие от листьев березы, содержится его минимальное, по отношению к другим частям дерева, количество.

Распространенность химических элементов в почвах и растительности тесно связана с их содержанием в породах-почвообразователях. Распространенность элементов в породах, в свою очередь, подчиняется ряду закономерностей. Важную роль играет геохимическое сходство, вследствие кото-

Рис. 3. Закономерности накопления Cr и Mn в березах

1 – М.Каран (Mn); 2 – Узун-Куль (Mn); 3 – Южно-Файзуллинское (Mn); 4 – Красовское (Mn); 5 – Красовское (на руде, Mn); 6 – М.Каран (Cr); 7 – Узун-Куль (Cr); 8 – Южно-Файзуллинское (Cr); 9 – Красовское (Cr); 10 – Красовское (на руде, Cr)



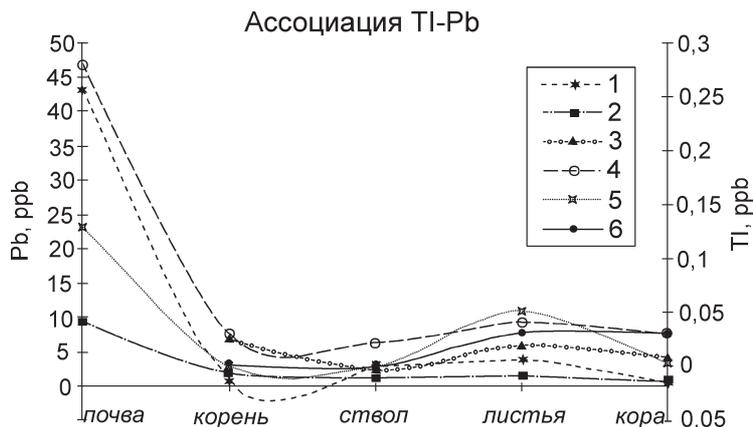


Рис. 4. Закономерности накопления ассоциирующих элементов **TI–Pb** в березе и почве (рудные поля железо-марганцевого и хромитового месторождений)

1 – Южно-Файзуллинское (Pb); 2 – Красовское (Pb); 3 – Красовское (на руде, Pb); 4 – Южно-Файзуллинское (TI); 5 – Красовское (TI); 6 – Красовское (на руде, TI)

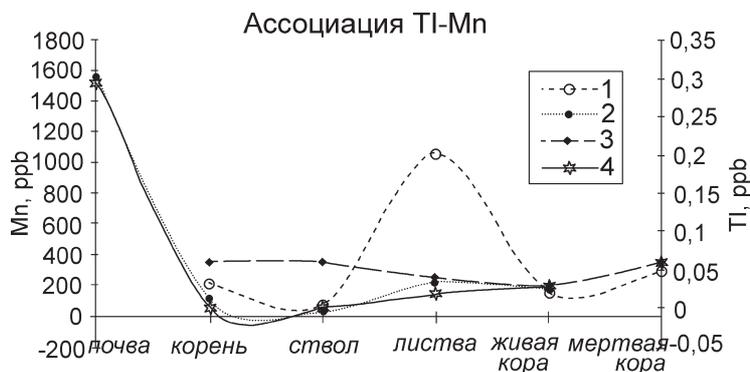


Рис. 5. Закономерности накопления ассоциирующих элементов **TI–Mn** в березе (рудное поле месторождения М. Каран и «чистая зона» оз. Узун-Куль)

1 – М. Каран (Mn); 2 – Узун-Куль (Mn); 3 – М.Каран (TI); 4 – Узун-Куль (TI)

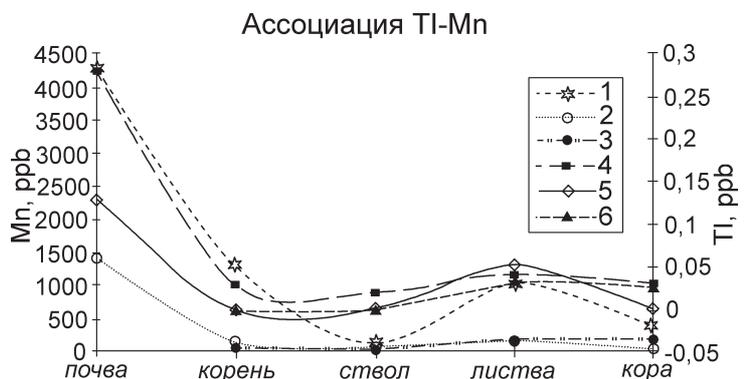


Рис. 6. Закономерности накопления ассоциирующих элементов **TI–Mn** в березе и почве (рудные поля хромитового и железо-марганцевого месторождений)

1 – Южно-Файзуллинское (Mn); 2 – Красовское (Mn); 3 – Красовское (на руде, Mn); 4 – Южно-Файзуллинское (TI); 5 – Красовское (TI); 6 – Красовское (на руде, TI)

рого ряд редких и рассеянных элементов (многие из них не образуют собственных минералов) сопутствует другим, более распространенным. Известно много устойчивых ассоциаций близких по определенным свойствам элементов. Так, рассеянный элемент таллий встречается в ассоциации с цинком, марганцем, свинцом, мышьяком, ртутью, распространенными компактно в форме собственных минералов; кадмий часто сопутствует цинку в сфалерите, бериллий встречается в минералах хрома, мышьяка, молибдена. Сопоставив обнаруженные концентрации элементов в разных частях деревьев, можно заключить, что аналогичные ассоциативные связи элементов, по-видимому, проявляются и в растениях (рис. 4, 5, 6).

Из приведенных результатов следует:

1. Для полноты информации о накоплении вредных элементов в древесных породах необходимо изучение разных частей растений;
2. В изучаемом регионе нарушается баланс естественного распределения вещества между литосферой, атмосферой, гидросферой;
3. Загрязнение окружающей среды в горнорудных районах Башкортостана обусловлено как техногенными, так и естественными геологическими факторами, последними, возможно даже в большей степени.

Литература:

Абдрахманов И.А., Пирожок П.И., Чадченко А.В. и др. Учалинский горно-обогатительный комбинат на рубеже XXI века. Уфа: Полиграфкомбинат, 1999. 304 с.

Снакин В.В. Природные ресурсы и окружающая среда: Словарь-справочник. М.: НИИ – Природа, РЭФИА, 2001. 567 с.

Старова Н.В., Мукатанов А.Х., Мулдашев А.А. и др. Биоценотическая характеристика хвойных лесов и мониторинг лесных экосистем Башкортостана. Уфа: Гилем, 1998. 308 с.

Старова Н.В., Салихов Д.Н., Абдрахманов Р.Ф. Геохимия в экологии и эволюции // Докл. РАН. 2001. Т. 381, № 6. С. 818–824.

Старова Н.В., Терезулова З.С., Мукатанов А.Х. и др. Принципы нетрадиционного комплексного решения экологических проблем Республики Башкортостан // Тр. Междунар. форума по проблемам науки, техники и образования. М., 1997. С. 98–112.