

УДК 550.4:628.4

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ОТХОДОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА БИОТЕСТИРОВАНИЯ

С.В. Азарова*, Е.Г. Язиков*, Н.Н. Ильинских**

*Томский политехнический университет. E-mail: svst@mail2000.ru

**Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск

Представлены результаты геохимического анализа проб отходов горнодобывающих предприятий Республики Хакасия и их биотестирования. При биотестировании в эксперименте с использованием тест-объекта *Drosophila melanogaster* оценивались: соотношение полов, морфозы, высота подъема куколок, средняя длина тела и крыла по отношению к концентрации пробы в среде. Сделаны выводы о воздействии отходов на живые объекты, выделены химические элементы, оказывающие токсическое действие.

Введение

Масштабы формирования отходов производства в России характеризуются величиной порядка 2,6 млрд т в год, тогда как средний уровень использования отходов составляет около 36 %. Суммарное накопление неиспользуемых отходов оценивается ориентировочно в 90 млрд т, в том числе токсичных отходов свыше 2 млрд т. На долю предприятий черной металлургии и угольной промышленности в 2001 г. токсичных отходов приходилось 39,30 млн т и 11,45 млн т соответственно [1].

Ведущую роль в хозяйственной деятельности Хакасии занимает горнодобывающая промышленность. Проведенная неполная инвентаризация объектов размещения отвалов и отходов предприятий показала, что масса вскрышных вмещающих пород и хвостов обогатительных фабрик составляет – более млрд т, а площадь размещения их – не менее 3 тыс. га [2]. Учитывая масштабы распространения и объемы накопления промышленных отходов, а также существующие официальные нормативные расчеты, которые не могут дать полного анализа воздействия отходов на живые организмы, авторами частично восполняется данный пробел.

Целью и задачей исследований являлась оценка экологической опасности отходов горнодобывающих предприятий Республики Хакасия на основе геохимического анализа и метода биотестирования (тест-объект *Drosophila melanogaster*).

Материал и методика

Изучены пробы отвальных хозяйств, шламоотстойников, хвостохранилищ и золошлаковые отходы горнодобывающих предприятий Республики Хакасия, включающие Тейское месторождение железа (АООТ "Тейское рудоуправление"), Кибик-Кардонское месторождение мрамора и Изербельское месторождение гранитов (ОАО "Саянмрамор"), а также Бейское месторождение угля (ОАО "Угольный разрез Чалпан").

В пробах отходов горнодобывающего производства проведено количественное определение элементов следующими методами: атомно-эмиссионным с индуктивно-связанной плазмой (В, Ni, Mn,

Cu, Zn, Ba, Sr, Nb, Cr, и V); атомно-абсорбционным с электротермической атомизацией (Pb, Cd, As, Co и Se); атомно-абсорбционным "холодного пара" (Hg) и потенциометрическим (F). Анализ проводился в аналитической лаборатории АО "Механобор-Аналит", г. Санкт-Петербург, аккредитованной в системе Госстандарта РФ (регистрационный номер в Госреестре № RSSG.RU.001.6.1.0011) и ЦСИ Минприроды РФ (регистрационный номер № ЦС-104 от 03.06.1993). Количественное определение растворимых форм элементов в буферных растворах выполнялось в лаборатории Государственной инспекции экологического контроля и анализа Республики Хакасия, г. Абакан. Аттестат аккредитации № РОСС.RU.0002.520665. Определение радиоактивных элементов U и Th выполнялось в ядерно-геохимической лаборатории Томского политехнического университета согласно инструкции НСАМ ВИМС № 410-ЯФ [3].

Биотестирование проб на содержание мутагенных соединений и обладающих токсическим эффектом проведено в Сибирском государственном медицинском университете г. Томска под руководством профессора Н.Н. Ильинских в соответствии с рекомендациями, широко апробированными на лекарственных препаратах и городской пыли [4, 5]. В процессе биотестирования изучено 20 проб, причем часть проб изучалась при разных концентрациях исходного материала в среде (20 % и 0,2 %). Для постановки эксперимента взяты линии дрозофил *yellow (y)* и *singed (sn)*. У *yellow* – желтое тело и прямые щетинки, у *singed* – тело серого цвета и опаленные щетинки. Признаки у и *sn* являются сцепленными с полом рецессивными признаками. В пробирках с готовым кормом для размножения оставляли в течение суток 2 самок и 1 самца. Контрольные и опытные группы формировали одновременно и идентично. В дальнейшем следили за развитием нового поколения. Истертые до пудры пробы помещали в съедобную среду для дрозофил в процентном соотношении 25 % (проба отхода) и 75 % (съедобная среда), 20 % и 80 %, а также 0,2 % и 99,8 %. Причем, процентные величины 20 % и 25 % содержания пробы в среде определялись после постановки летальной дозы (LD₅₀).

Таблица 1. Содержание токсичных элементов в отвалах и отходах производства

Элементы	АООТ «Тейское рудоуправление»			ОАО «Угольный разрез Чалпан»	ОАО «Саянмрамор»				ПДК (ОДК) почв [6, 7]	Кларк в земной коре [8]
	ПО, 113*	XX, 122*	ШО, 15*	ЗШО, 24*	ПО, 515*	ШО, 529*	ПГО, 521*	ЗШО, 543*		
As	3,1	17,4	37,8	1	2,7	0,92	1	7,9	2(5)	1,7
Cd	0,1	0,25	0,32	0,21	0,32	<0,05	<0,05	2	(1)	0,13
Hg	<0,03	<0,03	<0,03	0,03	<0,03	0,03	0,19	0,06	2,1	0,83
Se	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5		0,05
Pb	2,3	2,6	6,8	6,3	5,2	1	3,5	2,3	32(65)	16
Zn	18,5	15,2	99,4	109	81,4	13,2	55,8	24,7	(110)	83
Zn _с	2,57	3,94		8,82		3,24	1,36	2,2	23	
B	51,6	57,4	350	175	26,7	12,6	12,5	122		12
Co	4,5	2,9	77,4	30,3	7,3	3,5	3	8,4		18
Co _с	н.о.	0,42		1,07		0,65	0,4	0,48	5	
Ni	17,5	6,4	65,5	73,4	34,9	11,2	30,5	25,5	(40)	58
Ni _с	2,49	1,26		1,6		0,31	6,78	1,1		
Cr	150	31,3	54,9	298	188	9,6	168	134		83
Cr _с	143,2	76		н.о.		420,8	24,5	72,4	6	
Cu	26,3	20,8	150	53,3	22,8	34,3	12,1	7,9		
Cu _с	3,94	6,44		3,11		18,6		3,27	3	
Ba	39,5	26,1	133	43,9	164	30,2	333	124		650
V	52	58	162	256	91	<50	<50	<50	150	90
Mn	470	329	792	810	514	108	533	272	1500	1000
Sr	70,5	164	35,1	1089	90,6	292	126	490		340
U	5,8	19	11	7,8	10	4,6	4,3	9,2		2,5
Th	3,2	2,7	1,4	9,9	10	3,1	19	10		13

Примечание: * – номер пробы; Me_с – вытяжка буферным раствором; н.о. – элемент не определен; выделены жирным шрифтом превышения относительно ПДК и ОДК

Результаты исследования и их обсуждение

Геохимический анализ отходов горнодобывающих производств свидетельствует о неоднородности химического состава изучаемого материала. Из отходов ОАО "Саянмрамор" особо следует выделить золошлаковые отходы (ЗШО), в которых наблюдается превышения концентраций As, Cd, Cr и Cu относительно ПДК и ОДК. Породы гранитного отвала (ПГО) содержат высокие концентрации Cr, а также U и Th (табл. 1). Для золошлаков угольного разреза Чалпан характерны высокие концентрации Ni, Cr, V, а также подвижной формы Cu. Из радиоактивных элементов существенная концентрация отмечается для U (табл. 1). Отходы АООТ "Тейское рудоуправление" представлены породами отвала (ПО), шламом с отстойника (ШО) и хвостохранилища (XX). Значительные концентрации Cr, Cu, As и U устанавливаются в породах отвала "Северный". Материал из шламоотстойника характеризуется высокими концентрациями As, F, Cu, V, B и U (табл. 1).

Для исследуемых проб были рассчитаны коэффициенты концентраций относительно кларка в земной коре по А.П. Виноградову [8] и построены геохимические ряды, характеризующие отходы производства (табл. 2).

Согласно временного классификатора токсичных промышленных отходов [9], отходы горнодобывающего производства Республики Хакасии имеют IV класс и являются малоопасными. По новым критериям отнесения отходов к классу опасности [10], отходы горнодобывающего производства имеют V класс и являются практически неопасными [11].

Таблица 2. Геохимические ряды в отвалах и отходах производства

АООТ «Тейское рудоуправление»:
Породы отвала «Северный» (проба 113) – Se ₁₀ →B _{4,3} →As _{1,82} →Cr _{1,81} →Ga _{1,32} →Pb ₁ →V _{0,58} →Mn _{0,47} →Hg _{0,36} →Ni _{0,3} →Li _{0,28} →Co _{0,25} →Zn _{0,22} →Be _{0,21} →Sr _{0,2} →Pb _{0,14} →Zr _{0,058} →Cu _{0,05} ;
Материал хвостохранилища (проба 122) – As _{25,7} →B ₁₇ →Se ₁₀ →Cd _{4,9} →Co _{4,6} →Pb _{1,74} →Li _{1,35} →Cu _{1,26} →Ga _{1,05} →Pb ₁ →Mn _{0,98} →V _{0,94} →Zr _{0,88} →Cr _{0,72} →Zn _{0,55} →Hg _{0,47} →Ni _{0,45} →Be _{0,34} →Ba _{0,21} →Sr _{0,15} ;
Материал шламоотстойника (проба 15) – B _{29,2} →As _{22,24} →Se ₁₀ →Co _{4,3} →Cu _{3,19} →Cd _{2,46} →V _{1,8} →Li _{1,42} →Zn _{1,2} →Ni _{1,13} →Ga _{1,05} →Pb ₁ →Mn _{0,79} →Cr _{0,66} →Pb _{0,43} →Be _{0,37} →Hg _{0,36} →Ba _{0,2} →Sr _{0,1} →Zr _{0,06}
ОАО «Саянмрамор»:
Породы отвала «грязный» (проба 515) – Se ₁₀ →Li _{2,85} →Cd _{2,46} →Cr _{2,27} →B _{2,23} →As _{1,59} →Ga _{1,05} →V _{1,01} →Zn _{0,98} →Zr _{0,65} →Ni _{0,6} →Be _{0,55} →Mn _{0,51} →Pb _{0,5} →Cu _{0,49} →Co _{0,41} →Hg _{0,36} →Pb _{0,33} →Sr _{0,27} →Ba _{0,25} ;
Породы отвала № 1 «гранитный» (проба 521) – Ga _{1,05} →B _{1,04} →Zr ₁ →Zn _{0,67} →As _{0,59} →V _{0,56} →Mn _{0,53} →Ni _{0,53} →Ba _{0,51} →Pb _{0,5} →Cd _{0,38} →Cr _{0,37} →Cu _{0,26} →Pb _{0,22} →Co _{0,17} ;
Шлам отстойника (проба 529) – Se ₁₀ →Ga _{1,05} →B _{1,05} →Sr _{0,86} →Cu _{0,73} →Zr _{0,71} →V _{0,56} →As _{0,56} →Li _{0,51} →Pb _{0,5} →Be _{0,42} →Cd _{0,38} →Hg _{0,36} →Co _{0,19} →Ni _{0,19} →Zn _{0,16} →Cr _{0,12} →Mn _{0,1} →Pb _{0,06} →Ba _{0,05} ;
Золошлаковые отходы (проба 543) – Cd _{15,38} →B _{10,17} →Se ₁₀ →As _{4,65} →Cr _{1,61} →Sr _{1,44} →Ga _{1,05} →Hg _{0,72} →Zr _{0,69} →V _{0,56} →Pb _{0,5} →Co _{0,47} →Ni _{0,44} →Li _{0,31} →Zn _{0,3} →Mn _{0,27} →Be _{0,24} →Ba _{0,19} →Cu _{0,17} →Pb _{0,14}
ОАО «Угольный разрез Чалпан»:
Золошлаковые отходы (проба 24) – B _{14,6} →Se ₁₀ →Cr _{3,59} →Sr _{3,2} →V _{2,84} →Li _{2,17} →Co _{1,68} →Cd _{1,62} →Zn _{1,31} →Ni _{1,27} →Be _{1,21} →Cu _{1,13} →Ga _{1,05} →Mn _{0,81} →As _{0,59} →Pb _{0,5} →Pb _{0,39} →Hg _{0,36} →Ba _{0,07} →Zr _{0,06}

Существующие методики расчета не позволяют получить объективную информацию, тогда как из анализа литературного обзора следует, что как отдельные химические элементы, так и их соединения могут оказывать токсическое действие [12–14].

В связи с вышеизложенным, было предпринято: провести оценку экологической опасности отходов отдельных производств Республики Хакасия с использованием метода биотестирования. При биотестировании в эксперименте оценивались следующие биологические показатели: соотношение полов, морфозы, высота подъема куколок, средняя длина тела и крыла по отношению к концентрации пробы в среде (опыт/контроль). При обработке данных был использован математический метод: критерий соответствия χ^2 [4].

Критерий соответствия χ^2 (*Хи-квадрат*) применялся для определения степени соответствия фактических данных к ожидаемым [4]:

1) Соотношение полов. Соотношение полов – это критерий, являющийся доказательством токсичности проб отходов. Меньшее количество самцов по отношению к самкам свидетельствует о наличии токсического действия пробы. Подтверждением достоверности полученных результатов может служить критерий соответствия χ^2 , подсчитанный на основе данных по количеству самцов и самок в пробах. Полученные величины χ^2 в пробах 5211, 15, 24, 515 превышают критическое значение 3,84 (при числе степеней свободы равном 1, вероятности 0,05, согласно таблице χ^2 [4]), следовательно, предположение о том, что соотношение самок к самцам в контрольной среде и среде с добавлением пробы одинаково (1:1), неверно. Соответственно, можно сделать вывод, что состав проб исследуемых отходов оказал воздействие на соотношение полов дрозофил. В пробах 122, 543 и 529 величина χ^2 не превышает 3,84 и свидетельствует о том, что по данному показателю токсического действия проб не наблюдается.

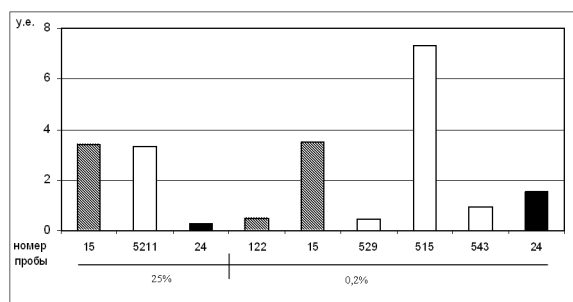


Рис. 1. Изменчивость показателя χ^2

Следует отметить, что в некоторых пробах при концентрациях 20 % и 25 % значение χ^2 меньше 3,84, а при концентрации пробы 0,2 % больше 3,84, то есть этот показатель более эффективен в среде с меньшей концентрацией пробы (0,2 %).

С целью определения степени влияния пробы на соотношение самок к самцам, нами был введен показатель X (рис. 1). Он рассчитывается, как отноше-

ние полученной величины χ^2 к табличному значению (3,84). Это отношение показывает, насколько полученная величина χ^2 больше табличного значения, что позволяет определить, в какой пробе наиболее сильно влияние спектра химических элементов.

Наибольшее токсическое действие оказывает состав пробы 515 и менее значительное воздействие характерно для остальных проб. В пробе 15 превышение величины χ^2 зафиксировано как при 25 %, так и при 0,2 % концентрации пробы в среде.

2) Морфозы. Морфозы – это ненаследуемые отклонения от нормального строения, не имеющие адаптивного значения. Примером может служить отсутствие щетинок, "помятые" крылья и так далее. В исследуемых пробах отмечалось отсутствие щетинок *pdс*, *adc* и "помятые" крылья. Исследователями, изучавшими в качестве тест-объекта жужелиц, отмечено, что с усилением антропогенной нагрузки может наблюдаться увеличение изменчивости морфологических признаков, минимальная величина которой указывает на стабильность индивидуального развития и, соответственно, стабильность условий среды [12]. Кроме того, было установлено, что среднее число морфоз на одну особь было выше у самцов, но это не было связано с уровнем антропогенной нагрузки. Результаты исследований с использованием в качестве тест-объекта *D. melanogaster* представлены в табл. 3.

Таблица 3. Соотношение самок к самцам дрозофил с морфозами

Проба	Количество самцов, %		Количество самок, %	
	контроль	опыт	контроль	опыт
ОАО «Тейское рудоуправление», проба 15	70,3	61,5	29,7	38,5
ОАО «Саянмрамор», проба 515	70,3	73,3	29,7	26,7
ОАО «Угольный разрез Чалпан», проба 24	100	81,8	0	18,2

В контрольных группах характерно большее количество морфозов у самцов, а также в средах с пробами. При сравнении же контроля и опыта для определения степени влияния в зависимости от пола установлено, что в первом случае (проба 15) токсическое действие пробы отражается на самках больше в опыте, чем в контроле. Для проб отходов ОАО "Саянмрамор" нет значимых отличий между контролем и опытом, тогда как в пробе золошлаковых отходов ОАО "Угольный разрез Чалпан" в контроле были обнаружены с морфозами только самцы, а в опыте уже и самки. Следует заметить, что морфозы были обнаружены только при 0,2 % содержании пробы в среде. На основе данных по количеству морфозов была подсчитана величина χ^2 в пробах отходов исследуемых предприятий.

Для определения степени влияния пробы на возникновение морфозов был впервые введен по-

казатель X_m . Он рассчитывался, как выше указанный, но для значений, полученных по результатам относительно наличия морфозов у мух. Это отношение показывает, насколько полученная величина X^2 больше табличного значения. В изучаемом материале значение X_m больше табличного 3,84 для проб 122, 15, 529 и 24 (рис. 2). Соответственно химические компоненты, присутствующие в пробах в повышенных количествах, оказывают влияние на появление морфоз.

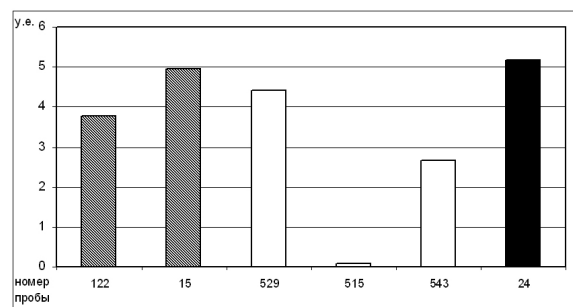


Рис. 2. Изменчивость показателя X_m

3) Высота подъема куколок над средой. Для определения вероятности оказываемого влияния пробы на развитие *D. melanogaster* используется параметр, характеризующий высоту подъема куколок. Любые отклонения от нормы, в данном случае от контроля, свидетельствуют о возможном воздействии проб отходов на живые организмы.

Таблица 4. Подъем куколок дрозофилы над средой

Номер пробы	Максимальная высота, мм		Минимальная высота, мм	
	контроль	опыт	контроль	опыт
Концентрация вещества в среде 25 %				
5211	27,92±2,3	27,46±3,0	0,67±0,1	0,86±0,3
Концентрация вещества в среде 0,2 %				
122	29,6±2,3	29,2±3,2	1,6±0,5	1,6±0,5
15	29,6±2,3	29,8±5,0	1,6±0,5	2,8±1,0
529	29,6±2,3	18,1±5,5	1,6±0,5	1±0,3
24	29,6±2,3	28,2±2,3	1,6±0,5	1,5±0,9

Из приведенной выше таблицы видно, что независимо от концентрации исследуемого вещества в среде максимальная высота поднятия куколок в опыте и контроле разных проб кардинально не меняется. Однако, в пробах 529 и 15 при концентрации 0,2 %, различия значимы. В пробе 529 максимальная высота поднятия в контроле значительно больше, а в 15 – минимальная меньше, чем в опыте. Соответственно спектр элементов, находящийся в пробах оказывает воздействие на такой параметр, как максимальное и минимальное поднятие куколок над средой, уменьшая или увеличивая ее.

Таблица 5. Значения измеряемых характеристик дрозофилы

Номер пробы	Средняя длина тела, мм				Средняя длина крыла, мм			
	самка		самец		самка		самец	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
122	5,7±0,06	5,7±0,61	4,9±0,04	5±0,06	4,7±0,05	4,5±0,06	3,8±0,04	3,9±0,04
24	5,7±0,06	5,5±0,64	4,9±0,04	4,5±0,05	4,7±0,05	4,4±0,04	3,8±0,04	3,8±0,05

В пробах 5211 (25 % пробы) и 529 (0,2 %) изучаемые параметры в опыте имели большую величину, чем в контроле, что свидетельствует об отрицательном влиянии вещества проб на *D. melanogaster*.



Рис. 3. Сроки развития *D. melanogaster* в опыте (проба 5211) и контроле

4) Длина тела и крыльев, сроки развития. Следует учесть, что *D. melanogaster* относится к насекомым с полным превращением, т.е. в своем развитии она проходит стадии яйца, личинки, куколки и имаго. По этим признакам наблюдается аналогичная ситуация (табл. 5). Резких различий не отмечается, а иногда фиксируются абсолютно одинаковые величины контроля и опыта (рис. 3).

Выводы

1. Повышенный кларк концентрации в исследуемых пробах отходов производства имеют следующие сквозные элементы Se, As, Cr, Ga, Cd и Tl. Однако в отдельных пробах присутствуют специфические элементы (V, Zn, Ni, Hg, Be, Zr, Co, U и Cu), которые могут оказывать в большей степени токсическое (по X или по X_m) действие. По результатам биотестирования, токсическим действием обладают все пробы, кроме материала золошлаковых отходов ОАО "Саянмрамор". Соответственно, элементы, находящиеся в концентрациях превышающих нормативные показатели, могут быть с большей степенью вероятности отнесены к числу вызывающих токсический эффект. В конкретном случае для отходов АОТ "Тейское рудоуправление" (материал пород отвала, шламоотстойника, хвостохранилища), возможно, основное негативное действие связано с присутствием в повышенных концентрациях As, Ni, V, U, а также подвижной формы (п.ф.) Cr и Cu. Отходы ОАО "Саянмрамор" (материал шламоотстойника и породы отвала "грязный") содержат в своем составе повышенные концентрации U, V, а также Cr (п.ф.) и Cu (п.ф.). Породы отвала № 1 "гранитный" характеризуются набором следующих элементов – U, Th и Cr (п.ф.). Для золошлаковых отходов ОАО "Угольный разрез Чалпан" характерны повышенные концентрации V, Ni, U и Cu (п.ф.).

2. Проведенные исследования позволили впервые установить специфические особенности влияния отходов производства железорудной, угольной и обрабатывающей промышленности Республики Хакасия методом биотестирования, отражающие их влияние на живые организмы, с расчетом критериев (*X* и *X_m*) и учетом особенностей развития дрожифил. Это позволит распространить данный опыт на другие отрасли и регионы России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куценко В.В. Угрозы экологической безопасности РФ и пути их снижения // Гигиена и санитария. — 2003. — № 6. — С. 24–26.
2. Геоэкологические проблемы горнодобычных предприятий Республики Хакасия / Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства. Секция: Гидрогеология и инженерная геология. Геоэкология и мониторинг геологической среды: Матер. Межд. науч.-техн. конф. — Томск: Изд-во ТПУ, 2001. — С. 197–200.
3. Многокомпонентный инструментальный нейтронно-активационный анализ почв и других объектов окружающей среды на токсические элементы. Инструкция НСАМ ВИМС № 410-ЯФ. — М., 2001. — 7 с.
4. Бельский М.Л. Элементы количественной оценки фармакологического эффекта. — Л.: Государственное изд-во медицинской литературы, 1963. — 152 с.
5. Леонидов Н.Б., Обухова Л.К., Окладнова О.В., Романенко Е.Б. Влияние полиморфных форм метилурацила на скорость развития и продолжительность жизни *Drosophila melanogaster* // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. — 1999. — Т. 127. — № 6. — С. 661–664.
6. Обобщенные перечни предельно допустимых концентраций вредных веществ в почве. Приложения 1, 2 к письму ЦСИ Госкомприроды РСФСР от 18.12.90. № ЦС-299/15-73. — М.: ЦСИ Госкомнедра, 1990. — 8 с.
7. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах. Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.020-94. — М.: Госкомэпиднадзор России, 1995. — 7 с.
8. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. — 1962. — № 7. — С. 555–571.
9. Временный классификатор токсичных промышленных отходов и методические рекомендации по определению класса токсичности промышленных отходов. Утв. Минздравом СССР и Госкомом СССР по науке и технике (№ 4286-87). Продлено письмом Минприроды РФ от 17.05.95 г. № 05-31-1519. — М., 1987. — 8 с.
10. Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды. Утв. Приказом МПР России от 15.06.01 г. № 511. — М., 2001. — 9 с.
11. Язиков Е.Г., Худяков В.М., Азарова С.В. Отвалы горно-добычного производства: комплексная оценка токсичности (на примере объектов Республики Хакасия) // Известия вузов. Геология и разведка. — 2003. — № 3. — С. 93–97.
12. Бутовский Р.О. Гонгальский К.Б. Использование морфометрических параметров популяции для оценки уровня антропогенного воздействия // Биоиндикация радиоактивных загрязнений. — М.: Наука, 1999. — С. 308–313.
13. Османов И.М. Роль тяжелых металлов в формировании заболеваний органов мочевой системы // Российский вестник педиатрии и педиатрии. — 1996. — № 1. — С. 36–39.
14. Эйхлер В. Яды в нашей пище: Пер. с нем. — М.: Мир, 1988. — 144 с.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования РФ (грант на научно-исследовательские работы аспирантов высших учебных заведений А03-2.13-765), а также Томского политехнического университета (конкурс 2004 г. на соискание грантов на проведение молодыми учеными научных исследований в ведущих научно-педагогических коллективах).