

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} →Ti 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} →Ti 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} →Ti 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} →Ti _{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} →Ti _{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} →Ti _{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} →Ti _{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} →Ti _{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.

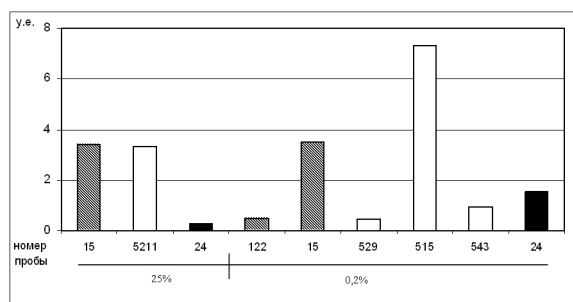


Рис. 1. Изменчивость показателя χ^2

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.

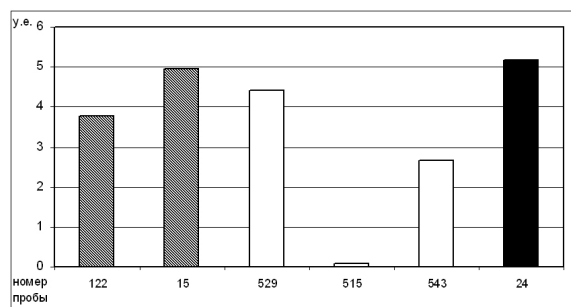


Рис. 2. Изменчивость показателя X_m

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*.

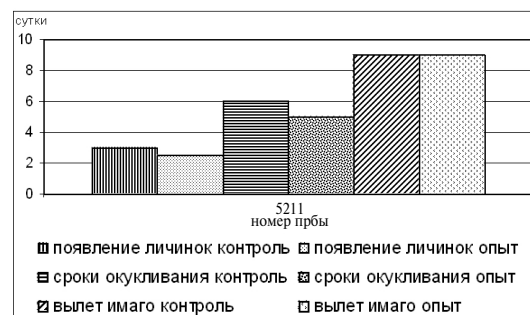


Рис. 3. Сроки развития *D. melanogaster* в опыте (проба 5211) и контроле

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 рудоправление" (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 дрожжей. 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).