

**Изучение физико-химических свойств и состава мышьяксодержащих отходов для целей экологического нормирования процесса уничтожения люизита и его двойных и тройных смесей**

© 2008. О.Ю. Растегаев, В.Н. Чупис, Т.П. Толоконникова, А.О. Малишевский, В.И. Марьин  
 Научно-исследовательский институт промышленной экологии,  
 e-mail: ecovector@sar-ecoinst.org

Изучены физико-химические свойства и состав отходов для целей экологического нормирования процесса детоксикации люизита и его двойных и тройных смесей, включая реакционные массы. Разработана и аттестована методика определения массовой доли мышьяка, которая апробирована и отработана на мышьяксодержащих отходах.

Physical-chemical properties and wastes composition are investigated for the purposes of ecological regulation of lewisite and its double and triple mixtures destructing, including reactionary masses. A special method of measuring mass fraction of arsenic is worked out that was tasted and tried on arsenic-containing wastes.

**Ключевые слова:** экологическое нормирование, паспортизация отходов, реакционные массы, детоксикация люизита, двойных и тройных смесей

Экологическое нормирование (нормирование природопользования) в части обращения с промышленными отходами включает: расчёт и обоснование лимитов на обращение с отходами и паспортизацию отходов с расчётом классов опасности и определением условий их обращения и хранения, на основании которых выдаётся лицензия на деятельность по обращению с отходами, дающая право на функционирование производства. Исходными для указанного вида работ являются данные о составе и свойствах отходов, полученные экспериментальным путем, при этом особое значение имеет определение количественных характеристик для экологически значимых компонентов, т. е. компонентов, имеющих низкие значения ПДК, высокую летучесть и растворимость, и вносящих наибольший вклад при расчёте классов опасности отхода [1, 2]. При экологическом нормировании процесса уничтожения люизита к таким компонентам относятся люизит, его производные и образующиеся при этом все соединения мышьяка. Таким образом, установление состава и свойств отходов является базовым условием экологического нормирования технологического процесса.

Среди приоритетных технологий переработки люизита метод щелочного гидролиза наиболее изучен в химическом отношении, достаточно просто реализуем в техническом плане, чем определяется его большая экологическая безопасность по сравнению с другими методами (гидрогенолиза и алкоголиза) [3 – 6]. Метод щелочного гидролиза люизита реализо-

ван на объектах УХО в пгт. Горный Саратовской области и в Камбарском районе Удмуртской Республики.

Двойные смеси люизита с ипритом (ДС) и тройные, содержащие дополнительно дихлорэтан (ТС), уничтожаются реагентной обработкой водными растворами моноэтаноламина в периодическом режиме [3].

При реализации указанных технологий (щелочного гидролиза и моноэтаноламинирования) образуются различные виды отходов, которые представлены в таблицах 1 – 3.

Особенность промышленных отходов как объектов анализа заключается в их многокомпонентном составе. Большинство отходов образуются при использовании различных материалов в целой серии технологических операций, поэтому отход в своём составе имеет не только изменившееся количество исходных компонентов, но и примесные компоненты материалов технологического оборудования. Отходы, как правило, содержат как компоненты органической природы, так и неорганического происхождения. Одни компоненты содержатся в макроколичествах, другие – в микроколичествах. Указанные причины обуславливают особенности анализа отходов, состоящие в том, что необходимо определять токсичные компоненты на фоне высоких концентраций органических или неорганических соединений. Это обстоятельство отличает анализ отходов от анализа таких сред, как воздух, вода и даже почва.

Изучение состава отходов, в отличие от других объектов экоаналитических исследо-

ваний, должно включать определение физико-химических показателей. Только совместное определение физико-химических показателей и содержания химических компонентов позволяет достаточно точно идентифицировать данный вид отхода и, следовательно, сделать заключение о соответствии технологическому процессу, паспорту отхода, условиям размещения, вторичного использования, т. е. определить соответствие экологическим требованиям. В связи с указанными принципами анализа отходов для реакционной массы, образующейся при уничтожении люизита и его смесей, определялись физико-химические свойства и химический состав по основным компонентам (соединения мышьяка, хлорид натрия, щёлочь и др.).

Одной из главных проблем являлась проблема анализа соединений мышьяка, поскольку их содержание в различных отходах колеблется в широких пределах. До наших разработок имелась одна методика по анализу мышьяка в отходах ПНДФ 16.1:2:2:3.16-98 «Методика выполнения измерений массовой доли (валового содержания) мышьяка в твёрдых сыпучих материалах фотометрическим и титриметрическим методом с выделением его гипофосфитом натрия». При содержании мышьяка от 0,05 до 20 г/кг определение проводится фотометрированием коллоидного раствора элементного мышьяка. Данный метод определения даёт нестабильные результаты, и целесообразней проводить определение в диапазоне до 1000 мг/кг с помощью отгонки арсина в хлороформенный раствор диэтилдитиокарбамина серебра с фотометрическим окончанием.

Имеющаяся методика по анализу почвы МВИ № 031-03-177-05 «Методика выполнения измерений массовой доли мышьяка в почве и материалах строительных конструкций фотометрическим методом» также не удовлетворяет всем требованиям. Она имеет узкий диапазон определений в интервале от 0,0005 до 0,01 г/кг и не достаточно эффективную минерализацию пробы – применяемая кислотная экстракция мышьяка из почвы не способна обеспечить перевод органических и неорганических соединений мышьяка в растворимую форму, необходимую для полноты извлечения мышьяка из пробы, а кислотная среда повышает летучесть мышьяка. Ещё одним недостатком данной методики является образование коллоидного белого раствора восстановленной серы при отгонке арсина в хлороформенный раствор диэтилдитиокарбамина серебра, что мешает определению.

В связи с этим встала задача разработки методики, имеющей более широкий диапазон, с более высокой чувствительностью определения и способом минерализации, обеспечивающим полное извлечение соединений мышьяка из анализируемой пробы. Более целесообразным представляется применение окислительно-щелочной минерализации, при которой происходит деструкция органических соединений мышьяка и растворение элементного мышьяка, который может присутствовать в пробе. Основная среда препятствует образованию летучих соединений мышьяка и коллоидной серы. Количества моноэтаноламина недостаточно для создания основной среды, поэтому нужно добавлять либо больше моноэтаноламина, либо диэтанолamina или триэтанолamina, обладающих более высокой основностью.

В результате подбора различных способов минерализации и вариантов окончания анализа разработана «Методика выполнения измерений массовой доли мышьяка в отходах производства (в том числе в реакционной массе от уничтожения люизита и его смесей)» № 031-02-184-05. Определение проводят с предварительной окислительно-щелочной минерализацией органических компонентов отходов, содержащих мышьяк. Концентрирование мышьяка проводят восстановлением в щелочной среде сильным органическим восстановителем его неорганических соединений до элементного мышьяка. Аморфный осадок мышьяка коагулируют, доводят до кипения в растворе с добавлением хлорида натрия для усиления эффекта высаливания. Затем осадок отфильтровывают и промывают до удаления остатков, непрореагировавших реагентов. Окончание анализа реализовано методом обратного титрования. Осадок металлического мышьяка растворяют в титрованном растворе бихромата калия в присутствии серной кислоты. Избыток бихромата калия титруют раствором соли Мора с индикатором – фенилантрапиновой кислотой.

Методика была апробирована и отработана на реальных отходах процесса уничтожения мышьяксодержащих отравляющих веществ. Она прошла метрологическую аттестацию в ОАО ФНТЦ «Инверсия» и внесена в Госреестр методик.

Данная методика показала наилучшие результаты и удобство в анализе по сравнению с имевшимися методиками. Окислительно-восстановительная реакция выбранного нами восстановителя и неорганических соединений

мышьяка в пробе протекает более полно и с большей скоростью. Выход элементного мышьяка практически количественный (96% введённого мышьяка) и гораздо более высокий по сравнению с другими восстановителями, например, с гипофосфитом – 80% введённого мышьяка, что существенно влияет на погрешность определения в нижних диапазонах определения, не требует введения в качестве катализатора ионов меди, осаждение проводится в щелочной среде, что исключает восстановление некоторых металлов, поскольку последние легко отделяются от пробы фильтрованием их гидроксидов.

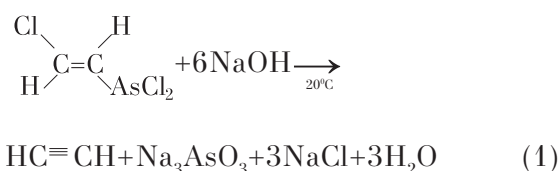
Объектами наших исследований являлись различные отходы, в том числе и реакционная масса, полученная в результате детоксикации люизита раствором щёлочи; реакционная масса, полученная в результате детоксикации ипритно-люизитных смесей (двойных и тройных) смесью моноэтаноламина и этиленгликоля на объекте УХО в пгт. Горный Саратовской области и реакционная масса, полученная в результате детоксикации люизита раствором щелочи на объекте УХО в Камбарском районе Удмуртской Республики, а также прочие отходы, образующиеся в технологическом процессе (угли, ветошь, СИЗ и т. д.). Всего исследовано более 30 образцов отходов, образующихся при уничтожении люизита и его смесей.

### Исследование состава реакционных масс, образующихся при щелочной детоксикации люизита

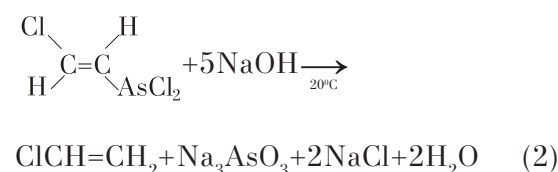
Перед выполнением аналитических исследований для определения полного перечня компонентов отхода наиболее целесообразным представляется проведение анализа технологического процесса с точки зрения протекающих химических реакций.

Химические свойства люизита и его производных, включая щелочной гидролиз, изучены достаточно полно [3 – 10]. Поскольку технический люизит представляет собой смесь веществ ( $\alpha$ -люизита и примесей  $\beta$ -люизита, трихлорида мышьяка  $AsCl_3$  и смол [5]), то воздействию щёлочи подвергается каждый из компонентов смеси.

*транс*-изомер  $\alpha$ -люизита с водными растворами сильных щелочей, например  $NaOH$ , разлагается уже при комнатной температуре с образованием ацетилена и арсенита натрия согласно (1) [8]:

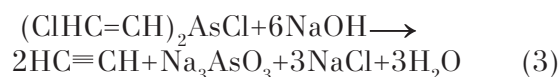


*цис*-изомер  $\alpha$ -люизита в этих условиях превращается в винилхлорид и арсенит натрия [5]:

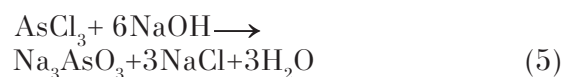
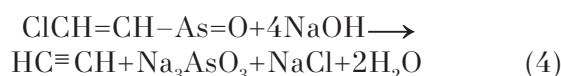


При повышении температуры реакция данного изомера со щёлочью ведёт к тем же продуктам, которые образуются в случае *транс*-изомера [5].

$\beta$ -люизит под воздействием сильных щелочей при 40 °C распадается также с выделением ацетилена и арсенита натрия [7]:



Присутствующие в техническом люизите хлорвиниларсиноксид и трихлорид мышьяка взаимодействуют с едким натром, давая ацетилен и арсенит натрия в соответствии с (4) и (5) [7]:



Вклад реакций (4) и (5) в состав реакционной массы невелик, так как суммарное содержание хлорвиниларсиноксида и трихлорида мышьяка в техническом люизите составляет не более 5 – 10 % [7].

Таким образом, при действии на технический люизит гидроксида натрия при 40°C выделяется ацетилен, арсенит натрия и хлорид натрия. Поскольку в результате протекания реакций расходуется щёлочь, а выделяющаяся вода приводит к разбавлению реакционной смеси, то для обеспечения полноты протекания процесса требуется избыток щёлочи [5].

В соответствии с нормами ТУ 2112-123-04872702-2002 «Реакционная масса, полученная в результате щелочного гидролиза

Таблица 1

Результаты анализа отхода реакционной массы, полученной при детоксикации люизита методом щелочного гидролиза

№ п/п	Определяемый параметр	Результаты анализа, (X±Δ), мг/кг при R=0,95								Норма по ТУ, мг/кг
		1	2	3*	4	5	6	7	8	
1.	Внешний вид	Жидкость светло-коричневого цвета	Жидкость светло-коричневого цвета	Жидкость светло-коричневого цвета	Жидкость желтого цвета	Жидкость желтого цвета	Жидкость желтого цвета	Жидкость желтого цвета	Жидкость желтого цвета	Жидкость от желтого до коричневого цвета
2.	Массовая доля мышьяка (Ш)	49,39±8,39	59,81±10,16	33,74±5,73	39,34±6,68	34,32±5,83	31,41±5,34	34,82±5,92	34,82±5,92	30,00–85,00
3.	Арсенит натрия	126,53±21,51	153,25±26,05	86,46±14,69	100,79±17,13	87,93±14,94	80,47±13,68	89,23±15,17	89,23±15,17	–
4.	Массовая доля мышьяка (V)	0,65±0,08	1,97±0,25	4,87±0,83	3,43±0,58	2,94±0,50	4,06±0,69	3,05±0,51	3,05±0,51	–
5.	Арсенит натрия	1,81±0,23	5,48±0,71	13,53±2,30	9,51±1,61	8,17±1,39	11,27±1,91	31,27±5,31	31,27±5,31	–
6.	Суммарный мышьяк (расчет)	50,04	61,79	38,62	42,77	37,26	35,47	37,88	37,88	–
7.	Суммарный мышьяк (экспериментально)	49,03±4,90	62,0±6,20	39,21±3,92	43,50±4,35	37,18±3,72	37,06±3,70	37,06±3,70	37,06±3,70	–
8.	Хлориды	70,63±12,71	84,0±15,12	55,28±9,95	68,29±8,87	70,48±9,16	61,53±7,99	79,38±10,31	79,38±10,31	–
9.	Массовая доля хлорида натрия	116,55±20,97	138,62±24,95	91,16±16,40	116,43±20,95	110,96±19,97	95,06±17,11	119,98±21,59	119,98±21,59	не более 140,00
10.	Массовая доля гидроксида натрия (связанного в солях мышьяка+свободный)	81,94±9,83	53,32±6,39	43,16±5,17	93,74±1,12	88,51±10,62	65,38±7,84	98,94±11,87	98,94±11,87	не более 200,00
11.	Содержание гидроксида натрия свободного	1,80±0,2	Отсутствует	Отсутствует	25,22±3,02	28,80±3,45	8,56±1,02	13,71±1,64	13,71±1,64	–
12.	Суммарное содержание натрия	92,35±13,85	109,59±16,43	64,27±6,42	99,72±14,95	94,55±14,18	75,0±11,25	97,56±14,63	97,56±14,63	–
13.	Массовая доля воды	72,64	70,14	792,61	735,63	777,39	812,79	733,41	733,41	–
14.	Плотность при 20°C, г/см <sup>3</sup>	1,24	1,25	1,18	1,26	1,23	1,19	1,26	1,26	–
15.	Показатель преломления, n <sub>D</sub> <sup>20</sup>	1,39	1,38	1,37	1,39	1,38	1,37	1,39	1,39	–

Примечание: \* отмечены отходы, образующиеся на объекте УХО в Камбарском районе Удмуртской Республики.

люизита» реакционная масса характеризуется по внешнему виду, нормируется массовая доля мышьяка (Ш), массовая доля хлорида натрия, массовая доля «общей щёлочи», остаточное количество α-люизита. Проведённые исследования показывают, что образцы реакционных масс соответствуют требованиям ТУ.

В соответствии с вышеизложенными подходами необходимо было также определить физико-химические показатели, пятивалентный мышьяк и общий мышьяк. Для полной идентификации реакционной массы нами дополнительно проведено определение таких показателей, как плотность, показатель преломления, суммарное содержание мышьяка, натрия. Реакционная масса была подвергнута исследованию на содержание органических соединений, прежде всего, остаточного люизита и неорганических соединений – арсенида, арсената, хлорида и гидроксида натрия.

Для обнаружения возможных органических соединений в реакционной массе, использовали хроматографический анализ с масс-селективным детектированием. Анализ гексанового экстракта из реакционной массы указывает на практическое отсутствие органической части (менее 2 отн. %), в том числе содержание остаточного люизита в реакционной массе менее  $1,0 \cdot 10^{-6}$  мг/мл. Данный результат свидетельствует о практическом отсутствии ОВ и, следовательно, о полноте проведённой детоксикации.

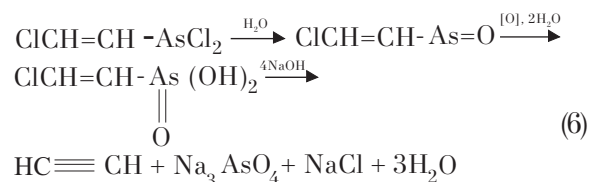
Результаты анализов приведены в таблице 1.

### Методы анализа

Массовая доля мышьяка (Ш), массовая доля мышьяка (V) определялись йодометрически соответственно в щелочной и в сильно кислой среде, массовая доля хлорида натрия – по хлорид-ионам титриметрически, массовая доля гидроксида натрия – титриметрически, массовая доля воды – гравиметрически с азеотропной отгонкой по МВИ № 031-02-013-00, ТУ 2112-123-04872702-2002; суммарная концентрация мышьяка – титриметрически по ПНДФ 16.1:2.23.16-98, МВИ № 031-02-184-05; хлориды – методом ионной хроматографии по НДФ 14.1:2:4.132-98; суммарная концентрация натрия – методом пламенной фотометрии по ПНДФ 14.1:2:4.138-98; плотность гравиметрически по ГОСТ 18995.1-73; показатель преломления – рефрактометрически по ГОСТ 18995.2-73.

Анализ результатов, полученных в результате определения таких показателей, как плотность, показатель преломления, суммарное содержание мышьяка, указывает на закономерное изменение этих показателей в зависимости от содержания других компонентов реакционной массы. При сравнении экспериментальных и рассчитанных значений содержания мышьяка с учётом погрешностей определения наблюдается удовлетворительная корреляция.

Наличие небольшого количества (около 1%) арсената натрия может быть связано с двумя причинами: либо с наличием в исходном техническом люизите виниларсоновой кислоты, либо с окислением люизита при осуществлении технологического процесса по реакциям (6), поскольку окисление арсенида натрия в отсутствие окислителя (ацетилен в среде азота) маловероятно. Экспериментально проверить данный факт можно только на основании более точного анализа состава исходных реагентов и продуктов реакции.



### Исследование состава других отходов, образующихся при детоксикации люизита и его двойных и тройных смесей

ДС и ТС могут различаться количествами образующих их компонентов, а физико-химические характеристики конкретных партий ОВ будут сильно зависеть от их состава, продолжительности и условий хранения. Известно, что в результате длительного хранения смесей в них могут иметь место процессы полимеризации [10].

Промышленную детоксикацию ДС и ТС проводят с помощью водного раствора моноэтаноламина с добавкой этиленгликоля при нагревании [10]. В состав реакционных масс после уничтожения ДС и ТС входят неорганические и органические соединения мышьяка, продукты взаимодействия иприта и дихлорэтана с моноэтаноламином, из которых самыми токсичными являются соединения мышьяка. Поэтому во всех отходах был проведён анализ мышьяка с использованием



Таблица 2

Содержание мышьяка в отходах, образующихся при щелочном гидролизе люизита

Наименование отхода	Содержание мышьяка, г/кг	Класс опасности
Реакционная масса	37,06 - 62,0	2 кл.
Уголь из фильтров ФП-300	2,73 ± 0,27	2 кл.
Ткань фильтровальная	4,87 ± 0,53	2 кл.
Ветошь продегазитрованная	0,058 ± 0,014	3 кл.
Активированный уголь из контактных аппаратов	0,003 ± 0,0009	3 кл.
Концентрат выпарки сточных вод (мг/дм <sup>3</sup> )	0,080 ± 0,20	3 кл.
Кек-шлак – зола от установки термического обезвреживания (УТО) в т.ч.: – зола от сжигания СИЗ, – зола от сжигания активированного угля	0,011-0,203	3 кл.
	0,090-0,203	3 кл.
	0,011	3 кл.
Фильтр тонкой очистки воздуха	0,96-2,44	3 кл.
Шлам после фильтрации реакционной массы люизита	22,26 ± 2,22	3 кл.
	28,09 ± 2,80	
Твёрдые отходы лаборатории	0,001 ± 0,0004	4 кл.
Жидкие отходы лаборатории (мг/дм <sup>3</sup> )	0,018 ± 0,005	4 кл.

Таблица 3

Содержание мышьяка в некоторых отходах, образующихся при моноэтаноламинировании ДС и ТС

Наименование отхода	Содержание мышьяка, г/кг	Класс опасности
Реакционная масса от детоксикации ДС	2,51 ± 1,01	2 кл.
Реакционная масса от детоксикации ТС	11,62 ± 1,16	2 кл.
Реакционная масса детоксикации 1-го промывного раствора ДС в этиленгликоле	0,034 ± 0,013	2 кл.
Реакционная масса детоксикации 2-го промывного раствора ДС в этиленгликоле	4,67 ± 0,47	2 кл.
Реакционная масса детоксикации 2-го промывного раствора ТС в этиленгликоле	0,21 ± 0,08	2 кл.
Отработанный дегазатор УРК	6,43 ± 0,64	2 кл.
Сточные воды	1,01 ± 0,41	2 кл.
Реакционная масса детоксикации промывного раствора люизита в этиленгликоле №1	6,95 ± 0,69	3 кл.
Реакционная масса детоксикации промывного раствора люизита в этиленгликоле №5	13,09 ± 1,30	3 кл.
Отработанный дегазатор от дегазации оборудования	2,52 ± 0,25	3 кл.
Концентрат выпарки сточных вод	0,62 ± 0,25	3 кл.
Кек-шлак – зола от установки термического обезвреживания (УТО), в т.ч.: – зола от сжигания СИЗ	0,014 ± 0,006	3 кл.
	0,002 ± 0,0006	4 кл.

вновь разработанной методики. Результаты определений приведены в табл. 2 и 3.

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что содержание мышьяка в отходе зависит от технологического происхождения отхода: отходы, непосредственно образованные в ходе осуществления технологического процесса, имеют существенно боль-

шее содержание мышьяка (реакционные массы, дегазаторы), чем отходы, образованные при осуществлении вспомогательных процессов (кек, золы, отработанные СИЗ, жидкие и твёрдые отходы от лабораторий). Аналогичная корреляция наблюдается и в распределении классов опасности отхода: чем больше содержание мышьяка, тем выше класс опас-

ности отхода и в основном не зависит от содержания в отходе других компонентов.

Таким образом, предложены методические подходы по проведению исследований отходов для целей экологического нормирования процесса детоксикации люизита и его двойных и тройных смесей. Установлен перечень физико-химических и химических показателей, разработаны и апробированы соответствующие методики определения, что позволяет рекомендовать их для применения в системах технологического и экологического контроля на объектах УХО.

### Литература

1. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19.10.2007 г. № 703 «Об утверждении методических указаний по разработке проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение».

2. Приказ МПР России от 15.06.01 № 511 «Об утверждении Критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей среды».

3. Мачилз Дж.Б.Х., Верлан Б.Л., Даз А., Медема Я. Уничтожение люизита (сравнение трёх методов) // Росс. хим. журн. 1995. Т. 39. № 4. С. 37-42.

4. Франке З. Химия отравляющих веществ. М.: Химия, 1973. Т. 1. 438 с.

5. Петрунин В.А., Баранов Ю.И., Кузнецов Б.А., Русанов В.М. Горский В.Г., Швыряев Б.В., Смирягина Т.Г., Сохадзе Л.А., Привезенцев Ю.В., Гореленко С.В. Математическое моделирование процесса щелочного гидролиза люизита // Росс. хим. журн. 1995. Т. 39. № 4. С. 15-17.

6. Александров В.Н., Емельянов В.И. Отравляющие вещества. М.: Военное издательство, 1990.

7. Умяров И.А., Кузнецов Б.А., Кротович И.Н., Холстов В.И., Соловьев В.К. Методы уничтожения и утилизации запасов люизита и иприта // Росс. хим. журн. 1993. Т. 37. № 3. С. 25.

8. Фёдоров В.А., Ефремов А.А., Гринберг Е.Е., Жуков Э.Г., Баранов Ю.И., Кузнецов Б.А., Потепалов В.П., Холстов В.И. Проблемы получения мышьяка и его соединений особой чистоты на основе люизита // Росс. хим. журн. 1994. Т. 38. № 2. С. 25.

9. Луганский И.Н., Папкова О.А., Чеботаев В.В., Холодова В.А., Шелученко В.В. Уничтожение люизита с использованием методов полимеризации. // Росс. хим. журн., 1994. Т. 38. № 2. С. 36-39.

10. Ашихмина Т.Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия. Киров, 2002. 543 с.

УДК 631.466.3

## Применение в экологических исследованиях методов биотестирования на культурах клеток человека и животных

© 2008. В.Н. Чупис, Л.Л. Журавлева, Д.Е. Иванов  
Научно-исследовательский институт промышленной экологии,  
e-mail: ecovector@sar-ecoinst.org

В статье рассмотрены возможности применения методов биотестирования на культурах клеток человека и животных при проведении экологического мониторинга, а также необходимое для этого лабораторное оборудование.

The article describes the opportunities of biotesting methods application on cell cultures of human beings and animals in the process of ecological monitoring. The labware necessary for it is presented.

Ключевые слова: биотестирование, культуры клеток, экологический контроль, токсикодинамика

Комплексное изучение состояния окружающей среды в районах расположения опасных промышленных предприятий включает использование методов биотестирования и биоиндикации. Как правило, проводится оценка состояния флоры и фауны наземных и водных биоценозов и токсичности проб

воды и почвы в строго контролируемых условиях аккредитованных лабораторий биотестирования с помощью методик, допущенных для целей государственного экологического контроля.

Основные требования, предъявляемые к тест-системам, заключаются в следующем: