

УДК 59.089 : 543.3 : 628.1/3

# ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ТКАНЕЙ И ТОКСИКОКИНЕТИКА МЫШЬЯКА И СУРЬМЫ ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ В ОРГАНИЗМ САМЦОВ БЕЛЫХ КРЫС ЛИНИИ ВИСТАР С ПИТЬЕВОЙ ВОДОЙ

А.В. Бевзюк<sup>1</sup>, С.А. Недовесова<sup>2</sup>,  
В.В. Турбинский<sup>1,3</sup>, А.С. Огудов<sup>4</sup>,  
С.Б. Бортникова<sup>5</sup>, Н.Г. Никифорова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, 630091, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет», Минобрнауки России, 630126, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>3</sup>Управление Роспотребнадзора по Смоленской области, 214018, г. Смоленск, Российская Федерация

<sup>4</sup>ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора, 630108, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>5</sup>ФГБУН «Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука» СО РАН, 630090, г. Новосибирск, Российская Федерация

Создаваемая в районе разработки месторождений сульфидных руд биогеохимическая провинция сурьмы и мышьяка формирует и отличный от обычных условий уровень их обмена в биосфере. Эти элементы наряду с рядом общих свойств элементов полуметаллов, обладают существенными особенностями биологического действия. Целью исследования послужила оценка изменчивости элементного состава тканей печени белых крыс при пероральном поступлении сточных вод хвостохранилища золотоизвлекательного рудника Комсомольский Кемеровской с повышенным содержанием сурьмы и мышьяка. Объектами исследования служили: сточная вода шламохранилища золотоизвлекательного рудника Комсомольский Кемеровской области; ткани печени белых крыс линии Вистар, кровь цельная, моча, кал. Было исследовано содержание – серы, хлора, калия, кальция, титана, марганца, хрома, железа, никеля, меди, цинка, селена, брома, рубидия, стронция, молибдена, мышьяка, ртути, свинца, сурьмы в тканях печени, крови, моче, кале до затравки, через 3 недели затравки и через 1, 2 и 4 недели в период восстановления после затравки. Установлено, что комбинированное пероральное 3-х недельное поступление в организм белых крыс самцов линии Вистар мышьяка в дозах: 10,0-15,1 мкг/кг/сут и сурьмы – в дозах: 4,2-6,1 мкг/кг/сут сопровождается их накопление в печени и крови и выведением из организма с мочой и калом, параметры токсикокинетики мышьяка свидетельствуют о его абсорбции и элиминации из крови примерно с одинаковой скоростью, тогда как в печени, скорость элиминации мышьяка несколько больше, чем абсорбции, (соответственно:  $t_{1/2}$  - 38 и 49 суток, а константы элиминации и абсорбции - 0,018 и 0,014). Для сурьмы в крови установлено преобладание процессов элиминации над абсорбцией (соответственно:  $t_{1/2}$  - 12 и 22 дня, при константах элиминации и абсорбции – 0,058 и 0,032).

**Ключевые слова:** мышьяк, сурьма, сточные воды шламохранилища, белые крысы, константа абсорбции, константа элиминации.

**Бевзюк Арина Вячеславовна (Bevzyuk Arina Vyacheslavovna)**, студент федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Российская Федерация, arinabevzyuk@yandex.ru  
**Недовесова Светлана Анатольевна (Nedovesova Svetalana Anatol'evna)**, аспирант кафедр анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности, Новосибирского государственного педагогического университета, Россия, nedovesovasweta@mail.ru

**Турбинский Виктор Владиславович (Turbinskij Viktor Vladislavovich)**, доктор медицинских наук, доцент, главный специалист-эксперт Управления Роспотребнадзора по Смоленской области, профессор кафедры гигиены и экологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, vturbinski@mail.ru

**Огудов Александр Степанович (Ogudov Aleksandr Stepanovich)**, кандидат медицинских наук, заведующий отделом токсикологии ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора, 630108, г.Новосибирск, Российская Федерация, ogudov.tox@yandex.ru

**Бортникова Светлана Борисовна (Bortnikova Svetlana Borisovna)**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующая лабораторией геоэлектробиологии федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука» Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 630090, г. Новосибирск, Российская Федерация, BortnikovaSB@ipgg.sbras.ru

**Никифорова Наталья Германовна (Nikiforova Natal'ya Germanovna)**, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой гигиены и экологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; Россия, Российская Федерация, natnik@ngs.ru

**Введение.** Анализ особенностей адаптационной изменчивости систем организма в условиях геохимических аномалий среды обитания человека является важной задачей геохимической экологии [5]. Сформулированные В.И.Вернадским, А.П. Виноградовым, В.В. Ковальским [3, 10, 8] основы выявления закономерностей химического взаимодействия живых организмов со средой своего обитания и диапазона оптимальных значений служат научно-методической базой разработки профилактических мероприятий [7, 4, 13]. Металлы и металлоиды обладают общей способностью взаимодействовать с сульфгидрильными группами биологических молекул, содержащими SH-группы, участвующих в проведении нервных импульсов, процессах тканевого дыхания, мышечного сокращения, проницаемости клеточных мембран и т.д. [11]. Взаимодействие ионов металлов и металлоидов с SH-группами приводит к образованию соединений – меркаптид и нарушению течения биохимических процессов, сопровождаемых отравление [1, 17].

*Цель данного исследования* заключалась в оценке изменчивости элементного состава тканей печени белых крыс при пероральном поступлении сточных вод хвостохранилища с повышенным содержанием сурьмы и мышьяка.

Задачами исследования служили: характеристика опасности перорального воздействия сточной воды хвостохранилища золотоизвлекательного рудника на теплокровный организм на примере рудника Комсомольский Кемеровской области; оценка элементного состава тканей печени, цельной крови, мочи, кала самцов белых крыс линии Вистар в контрольной и опытной группах – до воздействия (фон), после 3-х недель воздействия сточной воды, в период восстановления после воздействия через одну, две и 4-е недели; определение химических элементов-маркёров экспозиции и ответа организма, расчёт параметров токсикокинетики мышьяка и сурьмы при пероральном поступлении.

**Материалы и методы исследования.** Объектами исследования служили: сточная вода хвостохранилища золотоизвлекательного рудника Комсомольский Кемеровской области; образцы печени, цельной крови, мочи, кала самцов белых крыс линии Вистар с массой тела 250-290 грамм. Материалами исследований служили результаты анализа состава сточных вод хвостохранилища, результаты определения содержания химических элементов - S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Se, Br, Rb, Sr, Mo, As, Hg, Pb, Sb в тканях печени, цельной крови, моче, кале экспериментальных животных. Для проведения эксперимента опытная группа животных сначала в течении 3-х недель из поилок получали для питья сточную воду хвостохранилища золотоизвлекательного рудника Комсо-

вольский Кемеровской области с ежедневным учётом объёма выпитой воды группой животных, а в период восстановления водопроводную питьевую воду, что и контроль. Контрольные группы животных запаивались из поилок питьевой водой городского водопровода г.Новосибирска. Отбор образцов органов и тканей проводили после вскрытия животных предварительно наркотизированных крыс внутрибрюшинным введением нембутала в дозе 4 мг/100 г массы тела. Сбор мочи проводили с помощью обменных клеток, в которые животных помещали с утра на 4-4,5 часа.

Определение содержания элементов: S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Se, Br, Rb, Sr, Mo, As, Hg, Pb, Sb в органах лабораторных животных проводили после предварительной сушки при комнатной температуре. Анализ элементного состава отобранных образцов осуществлялся в лаборатории института ядерной физики СО РАН (Новосибирск) с помощью нейтронно-активационного и атомно-абсорбционного методов. Инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА) осуществлялся на исследовательском реакторе ИЯФ СО РАН. Образцы массой 30 - 100 мг облучались в вертикальных экспериментальных каналах реактора в потоке нейтронов 0,98 - 1,0·10<sup>13</sup>нейтрон/см<sup>2</sup>сек в течение 15-20 часов. Наведенная активность измерялась с помощью детектора GEM 25185 фирмы «Ortec» с энергетическим разрешением 1,85 кэВ по линии 1332 кэВ Со60.

Атомно-абсорбционный анализ осуществлялся с помощью атомно-абсорбционного спектрометра «Квант-2А» (Москва, КОРТЭК), укомплектованного дейтериевым корректором неселективного поглощения и соответствующими лампами полого катода, определение тяжелых металлов в образцах проводили в соответствии с требованиями стандартизованных методик. Определение Pb проводили в пламени «пропан-воздух». В качестве образцов сравнения в обоих методах анализа применялись стандартные образцы состава IAEA-SOIL-7, IAEA-336 (Lichen), SRM 1572 (Citrus Leaves), SRM 1575 (Pine Needles).

Расчёт индексов опасности производили в соответствии с [14].

Токсикокинетику сурьмы и мышьяка определяли по параметрам [15]:

константы скорости абсорбции (Ka), элиминации (Kel):

$$\frac{dC}{dt} / C_t = -Ka,el;$$

объём распределения вещества, Vd

$$Vd = \frac{D}{C_0}$$

период полувыведения (t1/2) – время уменьшения (увеличения) концентрации вдвое:

$$t1/2 = \ln 2 / Ka,el = 0,693 / Ka,el$$

Статистическая обработка результатов определения элементного состава внутренних органов экспериментальных животных включала расчет средних величин и статистической значимости различий средних. Статистически значимыми принимались различия средних с достоверностью  $p \leq 0,05$ .

**Результаты и обсуждение.** Анализ химического состава сточной воды хвостохранилища золотоизвлекательного рудника Комсомольский Кемеровской области и расчёты индекса опасности перорального воздействия показали, что из химических элементов состава сточных вод только содержание сурьмы и мышьяка являются опасными для здоровья человека (табл. 1). Критическими органами и системами организма на которые в основном направлено действие сурьмы и мышьяка при пероральном поступлении являются: гормональная, биохимические параметры крови (глюкоза, холестерин), желудочно-кишечный тракт, центральная нервная система, иммунная система, сердечно-сосудистая система.

В ходе эксперимента установлено, что животные контрольной группы ежедневно с питьевой водой получали дозы сурьмы и мышьяка – 0,03 мкг/кг/сут и 0,07 мкг/кг/сут соответственно, тогда

как животные экспериментальных групп – 4,2-6,1 мкг/кг/сут сурьмы и 10,0-15,1 мкг/кг/сут мышьяка, т.е. в 150-200 раз большие. Например, по данным [12, 19] в Кадамджайской (Республика Киргизия) и Ферганской (Республика Узбекистан) сурьмяных провинции суточное поступление сурьмы в организм человека в 7 – 15 раз превышает обычный уровень.

Как было отмечено ранее [18], суточное поступление мышьяка в организм человека составило около 1 мкг/кг, т.е. испытанная доза на порядок выше обычного поступления. Токсичными для эндокринной системы являются концентрации As в питьевой воде выше 200-500 мкг/л [20]. Следовательно испытанная концентрация мышьяка – 0,21 мг/дм<sup>3</sup> относится к диапазону токсичных.

Токсическая доза сурьмы составляет – 100 мг [6] или 1,5 мг/кг, что значительно превосходит испытанные 4,2-6,1 мкг/кг/сут, тогда как среднесуточное поступление сурьмы в организм человека с водой и пищей 50 мкг [2] или 0,7 мкг/кг/сут, соответствует уровню контроля. Сурьма по своим свойствам близка к мышьяку, установлено угнетающее влияние сурьмы на ферменты, участвующие в углеводном, жировом и белковом обмене. Как и мышьяк, сурьма, вызывает иммунодефи-

Таблица 1

**Содержание мышьяка и сурьмы в пробах воды Комсомольского хвостохранилища (Кемеровская область), питьевой воды (г.Новосибирск)**

Элементы	Сточная вода хвостохранилища		Питьевая водопроводная вода г.Новосибирск	
	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>	Индекс опасности	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>	Индекс опасности
S	97	0,22	6,6	0,014
Cl	5,8	0,023	11,2	0,042
K	3,1	0,089	1,3	0,034
Ca	86	0,065	45,1	0,031
Ti	0,0053	0,000003	0,002	0,000001
Cr	0,0012	0,0017	<0,001	0,001
Mn	0,02	0,0010	0,006	0,0003
Fe	0,35	0,0084	0,10	0,002
Ni	0,0012	0,0002	0,001	0,0002
Cu	0,07	0,13	0,01	0,017
Zn	0,042	0,0050	0,034	0,004
Rb	0,0021	0,0054	0,001	0,002
Sr	0,31	0,011	0,29	0,010
Mo	0,0016	0,0037	0,001	0,002
As	0,21	50,3	<0,01	0,21
Pb	0,0011	0,0045	<0,001	0,002
Sb	0,850	15,2	<0,008	0,066

цит [9], нарушает функции различных органов – сердце, почки, ЦНС, печень, легкие, кишечник, лимфатическую систему и др. [16].

Анализ содержания химических элементов в тканях печени самцов белых крыс линии Вистра до и после затравки сточной водой хвостохранилища золотоизвлекательного рудника Комсомольский, а также в восстановительном периоде через 1, 2 и 4 недели показал, что у животных опытных групп статистически достоверные ( $p < 0,05$ ) изменения содержания в тканях органа по сравнению с контролем отмечены для – калия, хлора, кальция, железа, свинца, мышьяка, хрома (табл. 2).

По характеру изменений содержания химических элементов в ткани печени можно отметить следующее:

- после 3-х недель затравки содержание всех отмеченных элементов возрастает;
- увеличенное содержание после затравки сохраняется в течении 4-х недель восстановительного периода – калий;
- увеличенное содержание после затравки в восстановительном периоде нормализуется – хлор, кальций, мышьяк;
- увеличенное содержание после затравки в восстановительном периоде снижается ниже уровня контроля – свинец, хром;
- снижено содержания в восстановительном периоде – железо.

Такое изменение элементного состава тканей печени может свидетельствовать о формировании реакции хронического стресса, повышения глюкокортикоидной активности надпочечников, белок синтетической функции печени в конце затравки и начале восстановительного периода. Снижение же содержания свинца, хрома после 2-ой и 4-ой недели, железа после 4-ой недели восстановительного периода у животных опытных групп ниже уровня контроля, по-видимому, характеризует истощение процессов образования молекул с их участием, что тоже может быть обусловлено уменьшением белоксинтетической активности печени.

По данным таблицы 3 содержание элементов в цельной крови самцов белых крыс линии Вистар после 3-х недельной пероральной затравки сточной водой хвостохранилища золотоизвлекательного рудника Комсомольский Кемеровской области и в восстановительном периоде существенно отличалось от контроля по калию, хлору, кальцию, мышьяку, титану, марганцу, меди, хрому, железу, молибдену, никелю, свинцу, ртути, олову, сурьме.

Увеличение концентрации в крови животных опытной группы после 3-х недельной затравки было отмечено для хлора, кальция, мышьяка, сурьмы. Концентрации же титана, марганца, хрома, железа, молибдена, никеля, свинца было снижено в этот период эксперимента.

В восстановительном периоде содержание хлора, мышьяка у животных опытной группы оставаясь повышенным после 1-ой недели, но ко второй и четвертой недели нормализовалось. Содержание сурьмы также нормализовалось только к четвертой недели восстановительного периода. Содержание калия в крови животных опытной группы, напротив, в восстановительном периоде после 2-ой и 4-ой недели увеличивалось.

Повышенное содержание кальция в крови животных опытной группы в начале восстановительного периода к концу 4-ой недели сменилось снижением ниже уровня контроля. Также повышение содержания в 1-ю неделю восстановительного периода меди и хрома в дальнейшем сменилось нормализацией содержания меди и снижением ниже уровня контроля у хрома. Содержание молибдена и никеля, ртути и олова в крови животных опытной группы в течении восстановительного периода то снижалось ниже уровня контроля, то нормализовалось, то превышало его. В результате через 4 недели восстановительного периода у животных опытной группы отмечалось повышенное содержание в крови калия, ртути и олова, и пониженное – кальция, титана и хрома.

Таким образом, подострое пероральное поступление повышенных доз сурьмы и мышьяка в организм белых крыс самцов линии Вистар сопровождалось увеличением их концентрации в печени и крови с последующей нормализацией в восстановительном периоде через 2 недели мышьяка и через 4 недели сурьмы. Вместе с этим, в организме экспериментальных животных опытной группы наблюдался дисбаланс содержания калия, хлора и кальция – гормонально регулируемых элементов, а также элементов входящих в состав окислительно-восстановительных ферментных систем – титан, марганец, медь, хром, молибден, никель, и элементов из группы «тиоловых ядов» - свинец, ртуть, олово.

Можно отметить несколько видов изменений содержания элементов в тканях печени и крови, когда изменения происходили:

- только в сторону увеличения и нормализации, как в печени, так и в крови – калий, хлор, хром, мышьяк, сурьма; только в крови – медь и олово;
- только в сторону уменьшения и нормализации в крови – титан, марганец, молибден, никель, свинец;
- как в сторону уменьшения, так и увеличения и в крови и в печени – хром, только в крови – кальций, только в печени – свинец.

Обращает на себя внимание динамика изменений элементного состава:

- после затравки на фоне повышенного уровня сурьмы и мышьяка в тканях печени и крови в печени - повышено содержание калия, хлоридов, хрома и свинца; в крови – повышено содержание

Таблица 2

**Содержание элементов в тканях печени самцов белых крыс линии Вистар до и после 3-х недельной пероральной затравки сточной водой хвостохранилища золотоизвлекательного рудника Комсомольский Кемеровской области (мкг/г сухой массы)**

Элементы	фон	3 недели затравки		1 неделя восстановления		2 недели восстановления		4 недели восстановления	
		Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
S	2772,5	3042,6	3312,8	3457,7	3872,8	3359,1	3260,5	2922,9	2486,8
K	1373,5	3530,9	5688,3*	4703,2	5875,5*	7996,7	11290,3*	11439,4	14882,0*
Cl	377,5	612,8	848,0*	777,1	941,5*	814,1	851,0	852,5	891,0
Fe	300,2	295,2	290,3	313,4	331,5	303,6	293,8	276,2	248,8*
Ca	147,3	217,3	287,3*	263,0	308,8	297,4	331,8	258,4	219,5
Zn	84,3	85,5	86,8	103,0	120,5	99,9	96,8	98,1	96,3
Br	31,7	36,6	41,4	38,6	40,7	41,2	43,9	47,4	53,6
Rb	18,9	21,8	24,8	23,1	24,3	24,0	25,0	27,0	29,9
Cu	13,4	12,2	10,9	13,0	13,9	13,5	13,9	13,1	12,8
Mn	5,59	5,83	6,06	5,37	4,92	5,11	4,85	4,73	4,34
Se	2,70	2,60	2,50	3,10	3,61	3,13	3,15	2,98	2,83
Mo	2,57	2,65	2,74	2,78	2,92	2,90	3,01	3,00	3,11
Ni	0,64	0,75	0,87	0,77	0,80	0,74	0,72	0,65	0,56
Pb	0,59	0,95	1,30*	1,16	1,37	1,20	1,25	1,01	0,81*
As	0,37	0,38	0,54*	0,39	0,42	0,39	0,39	0,37	0,36
Cr	0,26	0,40	0,53*	0,56	0,72*	0,44	0,32*		
Sr	0,11	0,20	0,30	0,24	0,29	0,29	0,34		

Примечание: \* - достоверность различия средних  $p < 0,05$

хлоридов и кальция и снижено содержание – марганца, хрома, железа, молибдена, никеля, свинца, т.е. можно сказать, что биологически активные молекулы, содержащие эти элементы, перераспределились в организме из кровяного русла в ткани органов.

- в период восстановления, после первой недели в печени – на фоне нормализации содержания мышьяка, остаётся повышенное содержание калия, хлора и хрома, а также добавляется повышенное содержание кальция; в крови же на фоне повышенного содержания мышьяка и сурьмы – сохраняется повышенное содержание хлора и кальция, а также добавляется повышенное содержание меди, и сохраняется пониженное содержание только молибдена, а содержание хрома напротив, превысило уровень контроля, тогда как марганца, никеля и свинца – нормализовалось. Следовательно, можно отметить увеличение активности хром- и медьсодержащих ферментов как проявление активности восстановительных процессов в организме.

- после 2-ой недели восстановительного периода в печени – на фоне нормализации содержания мышьяка, остается повышенным только содержание калия и пониженное содержание хрома; в крови на фоне нормализации содержания мышьяка и повышенного уровня сурьмы – повышается только уровень калия, кроме того, возвращаются пониженные уровни марганца, хрома, молибдена, никеля, а также ртути и возрастает содержание олова. Следовательно, проявляется цикличность в реакции организма на токсическое воздействие.

- после 4-х недель восстановительного периода на фоне нормализации содержания мышьяка и сурьмы в тканях организма экспериментальных животных в печени сохраняется повышенный уровень калия и при нормализации содержания остальных элементов, пониженный уровень содержания свинца; в крови также сохранялся повышенный уровень калия, сопровождаемый повышенным содержанием ртути и олова на фоне снижения концентрации кальция, титана и хрома.

**Содержание элементов в цельной крови самцов белых крыс линии Вистар до и после 3-х недельной пероральной затравки сточной водой хвостохранилища золотоизвлекательного рудника Комсомольский Кемеровской области (мкг/г сухой массы)**

Элементы	фон	3 недели затравки		1 неделя восстановления		2 недели восстановления		4 недели восстановления	
		Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
K	7639	7127	6614	6312	5497	8715	11118*	12324	15934*
S	4808	4546	4283	4717	4888	4333	3949	3968	3603
Fe	2362	2005	1648*	1708	1411*	1547	1387	1514	1481
Cl	1229	1915	2601*	2728	3541*	2867	3006	2619	2371
Ca	146,7	185,8	225,0*	291,2	396,5*	252,2	213,3	215,7	179,3*
Br	96,3	94,2	92,0	102,3	110,5	105,8	109,3	106,3	106,8
Zn	31,5	31,2	30,9	29,6	28,0	28,8	27,9	29,3	29,8
Rb	9,90	10,6	11,30	10,1	9,62	10,6	11,01	11,7	12,93
As	9,52	10,6	15,60*	10,7	12,80*	10,2	11,78	11,7	11,08
Ti	5,77	4,87	3,97*	5,63	6,39	5,58	5,52	4,46	3,35*
Mn	5,26	4,16	3,07*	4,35	4,54	3,64	2,92*	3,42	3,21
Cu	3,92	3,42	2,93	4,40	5,37*	4,27	4,14	3,71	3,16
Se	1,88	1,86	1,83	2,15	2,45	2,14	2,12	2,01	1,88
Cr	1,67	1,31	0,96*	1,74	2,17*	1,18	0,61*	0,92	0,67*
Mo	1,32	0,83	0,34*	0,54	0,26*	0,37	0,19*		
Ni	1,21	0,87	0,54*	0,78	0,69	0,61	0,44*	0,62	0,64
Pb	1,15	0,94	0,74*	0,99	1,03	0,92	0,85	0,94	0,97
Hg	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,17	0,08*	0,24	0,32*
Sn	0,23	0,25	0,26	0,22	0,19	0,32	0,42*	0,39	0,47*
Sr	0,22	0,11		0,20	0,30	0,22	0,23		
Cd	0,11	0,10	0,09	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11	0,10
Sb	0,05	0,07	0,21*	0,08	0,14*	0,07	0,09*	0,07	0,08

Таким образом, подострое пероральное комбинированное воздействие в течении 3-х недель мышьяка и сурьмы в дозах соответственно – 10,0-15,1 мкг/кг/сут и 4,2-6,1 мкг/кг/сут вызывает в печени и крови экспериментальных животных белых крыс самцов линии Вистар сразу после воздействия и в период восстановления перераспределение из кровяного русла в ткани органов – марганца, хрома, молибдена, никеля, свинца, повышением содержания калия, кальция и хлоридов, что может характеризовать состояние стресса.

Анализ элементного состава кала экспериментальных животных (табл. 4) показал, что сразу после перорального воздействия сточных вод хвостохранилища золотоизвлекательного рудника Комсомольский существенных изменений

в организме экспериментальных животных установлено.

Однако в период восстановления, через 1-у, 2-е недели и особенно через 4-е недели элементный состав кала экспериментальных групп животных существенно отличался от контроля. Эти изменения заключались в том, что в каловых массах снижалось после 4-х недель восстановления содержание кальция, что указывает на его более интенсивное усвоение организмом. Фазовый характер носило содержание в кале калия, молибдена – снижение после 1-ой недели восстановления и увеличение после 4-ой недели восстановления. Также пониженное по сравнению с контролем после 4-ой недели восстановления отмечено содержание в кале железа и марганца, селена. Аналогично калию отмечена динамика

Таблица 4

**Содержание элементов в кале самцов белых крыс линии Вистар до и после 3-х недельной пероральной затравки сточной водой хвостохранилища золотоизвлекательного рудника Комсомольский Кемеровской области (мкг/г сухой массы)**

Элементы	фон	3 недели затравки		1 неделя восстановления		2 неделя восстановления		4 недели восстановления	
		Контроль	опыт	Контроль	опыт	Контроль	опыт	Контроль	опыт
Ca	18489	19615	20740	22386	25157	19285	16184	22808	18489*
K	6488	6443	6397	4726	3010*	4280	3834	3675	6488*
S	2445	2604	2764	2469	2334	2333	2197	2743	2445
Fe	833	863	894	984	1104	985	987	1027	833*
Zn	757	820	882	887	955	834	780	867	757
Mn	563	600	637	701	803	726	751	761	563*
Cl	144	162	181	108	53*	82	56*	107	144*
Sr	84,6	90,4	96,3	102,7	115,0	97,5	92,4	103,4	84,6
Cu	81,1	79,8	78,5	93,7	107,5	86,2	78,8	85,7	81,1
Ti	34,6	30,9	27,1	33,6	36,4	33,8	34,1	37,5	34,6
Br	19,7	19,8	20,0	16,9	13,9	17,0	17,1	16,2	19,7
Ni	5,16	5,8	6,39	5,9	6,00	6,1	6,24	6,5	5,16
Rb	4,18	4,7	5,31	4,2	3,57	4,7	5,29	4,4	4,18
Cr	3,51	3,3	3,08	4,2	5,17*	5,4	6,55*	4,6	3,51*
Mo	2,64	2,8	2,91	2,3	1,92*	2,6	2,76	2,2	2,64*
Pb	1,66	1,5	1,28	1,1	0,67*	1,4	1,69*	1,3	1,66*
Se	0,70	0,9	1,03	1,0	1,14	1,2	1,41	1,1	0,70*
As	0,54	0,4	0,29	0,4	0,40	0,4	0,34	0,4	0,54*

содержания в кале хлора – пониженное после 1-й и 2-ой недель восстановления и повышенное после 4-ой недели. Тогда как содержание хрома наоборот, после 1-ой и 2-ой недель восстановления было повышенным, в после 4-ой недели – пониженным. Важным можно считать увеличение содержания мышьяка в кале животных после 4-ой недели восстановления.

Таким образом, анализ кала на содержание элементов свидетельствует, что под влиянием перорального поступления мышьяка и сурьмы в опасных концентрациях в организме задерживаются кальций, железо, марганец, хром и селен. И, напротив, усиливается выведение – калия, хлора, молибдена, свинца и мышьяка.

Анализ содержания химических элементов в сухом остатке мочи экспериментальных животных (табл. 5) показал, что у животных опытной группы по сравнению с контролем через 3 недели затравки в моче повышено содержание серы, кальция, марганца, свинца, мышьяка, хрома и снижено содержание никеля.

После 1-ой недели восстановления в моче животных опытной группы сохранялось повышенное содержание серы, кальция, марганца, меди, свинца, а также добавилось повышенное содержание хлора, титана, меди, селена, молибдена и пониженное ртути, свинца. После 2-ой недели восстановления содержание половины элементов нормализовалось, но повышенные уровни сохранились у серы, хлора, титана, марганца, свинца, появился повышенный уровень у калия и сменился пониженный уровень после 1-ой недели на повышенный после второй. После 4-ой недели восстановления в моче животных опытной группы отмечались превышения уровня контроля по содержанию калия, серы, железа, меди, хрома, никеля и свинца и пониженный уровень содержания хлора.

Таким образом, повышенное поступление мышьяка в течение трёх недель в сопровождалось увеличением его содержания в моче только сразу после периода затравки, в восстановительном же периоде уже через одну неделю его уровень сравнялся с контролем. Но изменения содержания

Таблица 5

**Содержание элементов в сухом остатке мочи самцов белых крыс линии Вистар до и после 3-х недельной пероральной затравки сточной водой хвостохранилища золотоизвлекательного рудника Комсомольский Кемеровской области (мкг/г сухой массы)**

Элементы	фон	3 недели затравки		1 неделя восстановления		2 недели восстановления		4 недели восстановления	
		Конт-роль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
K	19902	20453	21005	18114	17455	25011	35307*	35369	50600*
S	5633	7513	9392*	7795	10718*	7161	8661*	6558	7900*
Cl	2493	2808	3123	3999	4251	4203	3609	3840	2846*
Ca	612	814	1016*	1275	1790*	1104	962	945	809
Br	95	85	75	92	90	95	89	96	87
Rb	41,9	35,8	29,7	34,2	25,3*	35,7	29,0	39,7	34,0
Fe	42	51,3	60,7	43,7	51,9*	39,6	51,0*	38,8	54,5*
Zn	27,9	30,1	32,3	28,6	29,3	27,8	29,2	28,3	31,2
Sr	7,16	8,07	8,98	14,73		15,62			
Mn	1,27	3,26	5,25*	3,41	7,77*	2,85	5,01*	2,68	5,50*
Se	5,04	5,45	5,86	6,32	7,85*	6,28	6,79	5,90	6,03
Mo	6,54	6,11	5,69	6,39	8,41*	5,34	5,42	5,03	5,95
Cu	4,02	4,14	4,25	5,31	7,80*	5,15	6,01	4,48	4,59
Ti	2,91	3,02	3,13	3,49	5,05*	3,46	4,36*	2,77	2,65
Pb	0,28	1,09	1,90*	1,14	2,67*	1,06	2,19*	1,09	2,51*
Ni	1,36	1,12	0,87*	0,99	1,10	0,77	0,70	0,79	1,02*
As	0,14	0,19	0,25*	0,19	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17
Cr	0,25	0,51	0,78*	0,68	1,76*	0,46	0,50	0,36	0,55*
Hg	0,16	0,16	0,16	0,14	0,11*	0,21	0,26*	0,26	0,29

других элементов в восстановительном периоде не только сохранялись (сера, марганец, хром, свинец), но и развивались (калий, железо, хлор, титан, медь, селен, молибден, никель, ртуть) то появлялись и исчезали, то меняли направленность с нормального на пониженный (хлор) или пониженного на повышенный (ртуть) уровень, что согласуется с данными полученными на моделях культур клеток животных, в которых показано, что низкие концентрации  $iAs (+3)$  (0,1-0,7 мкМ) стимулируют гормон-индуцируемую транскрипцию, а более высокие нецитотоксические уровни мышьяка (1-3 мкМ) ингибируют транскрипцию [21].

Сопоставляя полученные результаты содержания мышьяка и сурьмы в тканях печени, крови, мочи и кала установлено, что комбинированное пероральное 3-х недельное воздействие в организм белых крыс самцов линии Вистар мышьяка и сурьмы, соответственно в дозах: 10,0-15,1 мкг/кг/сут и 4,2-6,1 мкг/кг/сут сопровождается их накоплением в печени и крови и выведением из организма с мочой и калом. При этом, с мочой выведение мышьяка происходит в течении затравки, а с калом в восстановительном периоде, что подтверждает крити-

ческое значение органов пищеварения в накоплении мышьяка. Установление более длительного периода по сравнению с мышьяком повышенных концентраций сурьмы в цельной крови, как сразу после 3-х недель затравки, так и на протяжении более 2-х недель восстановительного периода, несмотря на меньшие, чем у мышьяка, дозы воздействия свидетельствует о более тесном сопряжении его с молекулярными системами крови. В подтверждение можно отметить снижение концентраций в крови элементов входящих в состав ферментных систем крови – железо, хром, молибден, никель, сопровождаемое в тоже время увеличением их концентрации в моче и кале.

Расчёты параметров токсикокинетики мышьяка и сурьмы в печени и крови самцов белых крыс линии Вистар (табл. 6) показал, что при пероральном поступлении в организм мышьяк поступает и выводится из крови примерно с одинаковой скоростью ( $t_{1/2}$  соответственно 45 и 47 суток, константы абсорбции и элиминации по 0,015). В печени же, скорость элиминации несколько больше, чем абсорбции ( $t_{1/2}$  соответственно - 38 и 49 суток, а константы элиминации и абсорбции - 0,018



**Параметры токсикокинетики мышьяка и сурьмы при подостром пероральном поступлении в организм самцов белых крыс линии Вистар**

Параметры	Печень, Мышьяк		Кровь			
			Мышьяк		Сурьма	
	Абсорбция	Элиминация	Абсорбция	Элиминация	Абсорбция	Элиминация
D	15,1	15	15,1	15	6,1	6
Co	0,38	0,54	10,6	15,6	0,07	0,21
dC	0,16	0,18	5	4,52	0,14	0,13
dt	21	28	21	28	21	28
Ct	0,54	0,36	15,6	11,08	0,21	0,08
Vd	39,7	27,7	1,4	0,96	87,1	28,6
KE(A)	0,014	0,018	0,015	0,015	0,032	0,058
Cl	0,560	0,496	0,022	0,014	2,8	1,7
t1/2	49	38	45	47	22	12

и 0,014). Для сурьмы в крови установлено преобладание процессов элиминации над абсорбцией (t1/2 соответственно - 12 и 22 дня, при константах элиминации и абсорбции – 0,058 и 0,032).

#### Выводы:

1. Под влиянием перорального комбинированного воздействия мышьяка и сурьмы в дозах соответственно – 10,0-15,1 мкг/кг/сут и 4,2-6,1 мкг/кг/сут в печени и крови экспериментальных животных белых крыс самцов линии Вистар сразу после воздействия и в период восстановления происходит: а) перераспределение из кровяного русла в ткани печени – марганца, хрома, молибдена, никеля, свинца; б) повышение содержания калия, кальция и хлоридов; в) задержание в тканях организма - кальция, железа, марганца, хрома и селен; г) усиление выведения – калия, хлора, молибдена, свинца и мышьяка.

2. Подострое пероральное поступление в организм мышьяк в дозах 10-15,1 мкг/кг/сут сопровождается: а) равновесием его абсорбции и элиминации кровью (t1/2 соответственно 45 и 47 суток,

константы абсорбции и элиминации по 0,015); в печени – преобладанием элиминации над абсорбцией (t1/2 соответственно - 38 и 49 суток, а константы элиминации и абсорбции - 0,018 и 0,014)% а сурьмы в дозах 4,2-6,1 мкг/кг/сут – преобладанием процессов элиминации над абсорбцией в крови (t1/2 соответственно - 12 и 22 дня, при константах элиминации и абсорбции – 0,058 и 0,032).

3. Маркерами экспозиции перорального поступления в теплокровный организм соединений мышьяка и сурьмы являются увеличение их количества в тканях органов, крови, мочи и кала при воздействии и в восстановительном периоде.

4. Химическими элементами- маркерами ответа организма на пероральное поступление соединений мышьяка и сурьмы служат: в крови - калий, хлор, кальций, железо, марганец, медь, хром, молибден, никель; в тканях печени – калий, хлор, хром, свинец; в моче – сера, железо, марганец, хром, свинец; в кале – хлор, хром и свинец.

Работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-05-00056).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А., Строчкова Л. С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. – М., 1991, 496 с.
2. Биохимия и токсикология соединений мышьяка, сурьмы и висмута - [электронный ресурс] - URL: [https://otherreferats.allbest.ru/chemistry/00131620\\_0.html](https://otherreferats.allbest.ru/chemistry/00131620_0.html) (дата обращения - 22.04.2018).
3. Виноградов, А.П. Поиски рудных месторождений по растениям и почвам. Труды Биохимической лаборатории АН СССР. М.: Изд-во АН СССР, 19Вып. С. 3-27.
4. Гурвич В.Б., Плотно Э.Г., Кузмин С.В., Селянина К.П., Рыжов В.В., Макаренко Н.П., Надеенко В.Г. Актуальные проблемы профилактической медицины в Уральском регионе. Сборник научных трудов и научно-практических работ, посвященный 80-летию госсанэпидслужбы России - Екатеринбург.-2002.-с. 76- 81.
5. Ермаков В. В. Геохимическая экология и биогеохимические критерии оценки экологического состояния таксонов биосферы. ГЕОХИМИЯ, 2015, № 3, с. 203-221.
6. Ершов Ю.А., Плетенева Т.В. Механизмы токсического действия неорганических соединений. М.: Медицина, 1989
7. Зайцева Н.В., Устинова О.Ю. Медико-профилактические технологии для задач управления риском нарушений здоровья населения, ассоциированных с воздействием факторов среды обитания. Фундаментальные исследования. – 20– № 10– С. 665-670;
8. Ковалевский А.Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений. 2-е изд., перераб. и доп. М. Недра. – 19– 172 с. ил. 21 с.
9. Макдермотт М, ред. Секреты эндокринологии. Пер. с англ. М-СПб: Бином, Невский диалект, 20464 с.
10. Малюга, Д.П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений - М.: Изд-во АН СССР, 19264 с.
11. Нестерова, Е.Н. Основы токсикологии. Учебное пособие для студентов. - Брянск: Издательство Брянской государственной инженерно-технологической академии, 20-51 с. - <http://davaiknam.ru/text/6-osnovi-toksikologii>
12. Посыланов Г.С., Долгодворов В.Е., Жеруков Б.Х. и др. Растениеводство. Под ред. Г.С. Посыланова.М.:Колос, 2006г. 612с.
13. Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Игнатова Т.Н., Судыко А.Ф., Сандимирова Г.П., Пахомова Н.Н. Химический элементный состав органов и тканей человека и его экологическое значение. Геохимия. 20– № С.779-784.
14. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Руководство. Р 2.1.10.1920-04\* (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 05.03.2004).
15. Современное представление о токсикодинамике и токсикокинетике - <http://myzooplanet.ru/farmakologiya-toksikologiya-veterinaromaya/sovremennoe-predstavlenie-toksikodinamike-15583.html> - [дата обращения 22.12.2018]
16. Сурьма «Рвотный камень» - [электронный ресурс] - URL: <http://pharmacognosy.com.ua/index.php/makro-i-mikro-chudesasurma-rvotniy-kamen> - (Дата обращения - 21.12.2017).
17. Тиоловые яды, механизм действия - [электронный ресурс] - <https://studopedia.org/5-77519.html>
18. Турбинский В.В., Бортникова С.Б. О соотношении мышьяка и сурьмы в биогеохимических провинциях как факторов

риска здоровью. Анализ риска здоровью. - 20- № – С. 136–143.  
 19. Эндемия сурьмы – [электронный ресурс] - URL: <http://belki.com.ua/minerali-entemia.html> (Дата обращения -

27.02.2018  
 20. Del Razo L.M., Garcia-Vargas G.G., Valenzuela O.L., Castellanos E.H., Sánchez-Peña L.C., Currier J.M. et al. Exposure to arsenic in drinking water is associated with

increased prevalence of diabetes: a cross-sectional study in the Zimapán and Lagunera regions in Mexico. *Environ. Health.* 2011; 10: 73-80.  
 21. Gosse JA1, Taylor VF, Jackson BP,

Hamilton JW, Bodwell JE. Monomethylated trivalent arsenic species of disrupt steroid receptor interactions with non-cytotoxic cellular concentrations // *J Appl Toxicol.* 2014 May; 34 (5): 498-5doi: 10.1002 / jat.2898.

## REFERENCES:

1. Avtsyn A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A., Strochkova L.S. Human microelementoses: etiology, classification, organopathology. - M., 1991, 496 p. (in Russian)
2. Biochemistry and toxicology of arsenic, antimony and bismuth compounds - [electronic resource] - URL: [https://otherferats.allbest.ru/chemistry/00131620\\_0.html](https://otherferats.allbest.ru/chemistry/00131620_0.html) (circulation date - 04.22.2018). (in Russian)
3. Vinogradov, A.P. The search for ore deposits in plants and soils. Proceedings of the Biogeochemical Laboratory of the USSR Academy of Sciences. M.: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 19Vol. P. 3-27. (in Russian)
4. Gurvich V.B., Plotko E.G., Kuzmin S.V., Selyankina K.P., Ryzhov V.V., Makarenko N.P., Nadeenko V.G. Actual problems of preventive medicine in the Ural region. Collection of scientific papers and scientific and practical works dedicated to the 80th anniversary of the State Sanitary and Epidemiological Service of Russia - Ekaterinburg.- 20- p. 76-81. (in Russian)
5. Ermakov V.V. Geochemical ecology and biogeochemical criteria for assessing the ecological status of taxons of the biosphere. *GEOCHEMISTRY*, 2015, No. 3, p. 203-221. (in Russian)
6. Ershov Yu.A., Pleteneva T.V. Mechanisms of toxic action of inorganic compounds. M.: Medicine, 1989 (in Russian)
7. Zaitseva N.V., Ustinova O. Yu. Medical and preventive technologies for the tasks of managing the risk of impairment of public health associated with exposure to environmental factors. *Basic research.* - 20- № 10– p. 665-670; (in Russian)
8. Kovalevsky A.L. Biogeochemical search for ore deposits. 2nd ed., Pererab. and add. M. Nedra. - 19- 172 s. silt 21 s (in Russian)
9. McDermott M, ed. Secrets of endocrinology. Per. from English M-SPb: Binom, Nevsky dialect, 20464 p. (in Russian)
10. Malyuga, D.P. Biogeochemical method of prospecting for ore deposits - M.: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 19264 p. (in Russian)
11. Nesterova, E.N. Fundamentals of toxicology. Textbook for students. - Bryansk: Publishing house of the Bryansk State Academy of Engineering and Technology, 20- 51 p. - <http://davaiknam.ru/text/6-osnovi-toksikokinetiki> (in Russian)
12. Posypanov G.S., Dolgodvorov V.E., Zherukov B.Kh. and other. *Crop. Ed. G.S. Posypanova.M.: Kolos*, 20612s. (in Russian)
13. Rikhvanov L.P., Baranovskaya N.V., Ignatova T.N., Sudyko A.F., Sandimirova G.P., Pakhomova N.N. The chemical elemental composition of human organs and tissues and its ecological significance. *Geochemistry.* 20- № C.779-784. (in Russian)
14. Guidelines for assessing the risk to public health when exposed to chemicals that pollute the environment. Manual. R 2.1.10.1920-04 "(approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on March 5, 2004). (in Russian)
15. Modern understanding of toxicodynamics and toxicokinetics - <http://myzooplanet.ru/farmakologiya-toksikologiya-veterinarnaya/sovremennoe-predstavlenie-toksikodinamike-15583.html> - [appeal date 12/22/2018]
16. Antimony «Gnarly stone» - [electronic resource] - URL: <http://pharmacognosy.com.ua/index.php/makro-i-mikro-chudesa/sumarnotnyy-kamen> - (Circulation date - 21.12.2017).
17. Thiol poisons, mechanism of action - [electronic resource] - <https://studopedia.org/5-77519.html>
18. Turbinsky V.V., Bortnikova S.B. On the ratio of arsenic and antimony in biogeochemical provinces as health risk factors. *Health risk analysis.* - 20- № - p. 136-143.
19. Antimony endemia - [electronic resource] - URL: <http://belki.com.ua/minerali-entemia.html> (Address - 27.02.2018)
20. Del Razo L.M., Garcia-Vargas G.G., Valenzuela O.L., Castellanos E.H., Sánchez-Peña L.C., Currier J.M. et al. Exposure to arsenic in diabetes: a cross-sectional study in Zimapán and Lagunera regions in Mexico. *Environ. Health.* 2011; 10: 73-80.
21. Gosse JA1, Taylor VF, Jackson BP, Hamilton JW, Bodwell JE. Monomethylated trivalent species of disrupt steroid receptor interactions with non-cytotoxic cellular concentrations // *J Appl Toxicol.* 2014 May; 34 (5): 498-5doi: 10.1002 / jat.2898.

A.V. Bevzyuk<sup>1</sup>, S.A. Nedovesova<sup>2</sup>, V.V. Turbinskiy<sup>1,3</sup>, A.S. Ogudov<sup>4</sup>, S.B. Bortnikova<sup>5</sup>, N.G. Nikiforova<sup>1</sup>

## ELEMENTAL COMPOSITION OF TISSUES AND TOXICOKINETICS OF ARSENIC AND ANTIMONY ON INTAKE IN MALE WHITE RATS OF THE WISTAR LINE WITH DRINKING WATER

<sup>1</sup>Novosibirsk State Medical University, Ministry of Health of the Russia Federation, 630091, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Novosibirsk State Pedagogical University, Ministry of Education and Science of the Russian Federation, 630126, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>3</sup>Management of Rospotrebnadzor in the Smolensk region, 214018, Smolensk, Russian Federation

<sup>4</sup>Novosibirsk Scientific Research Institute of Hygiene of Rospotrebnadzor, 630108, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>5</sup>A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS, 630090, Novosibirsk, Russian Federation

The biogeochemical province of antimony and arsenic created in the area of massive sulphide deposits forms a level of their exchange in the biosphere that is different from the usual conditions. These elements along with a number of common properties of the semi-metals have significant features of biological action. The aim of the study was to assess the variability of the elemental composition of the liver tissues of white rats with oral intake of wastewater from the tailings of Komsomolsk gold mine (Kemerovo region) with a high content of antimony and arsenic. The objects of the study were wastewater from the slurry pits of Komsomolsk gold mine (Kemerovo region); liver tissue of white rats of the Wistar line, whole blood, urine, excrements. The contents of sulfur, chlorine, potassium, calcium, titanium, manganese, chromium, iron, nickel, copper, zinc, selenium, bromine, rubidium, strontium, molybdenum, arsenic, mercury, lead, antimony in the tissues of the liver, blood, urine, excrements before priming, after 3 weeks of priming and after 1, 2 and 4 weeks during the recovery period after priming have been determined. It has been established that combined oral 3 weeks intake of arsenic in a dose of 10,0-15,1  $\mu\text{g} / \text{kg} / \text{day}$  and antimony in a dose of 4,2-6,1  $\mu\text{g} / \text{kg} / \text{day}$  in male white rats of the Wistar line is accompanied by their accumulation in the liver and blood and the excretion with urine and excrements, the parameters of the toxicokinetics of arsenic indicate its absorption and elimination from the blood about the same rate, whereas in liver, the rate of elimination of arsenic is somewhat higher than the rate of absorption ( $t_{1/2}$  - 38 and 49 days and constants of elimination and absorption - 0.018 and 0.014, respectively). The predominance of elimination processes over absorption for antimony in the blood ( $t_{1/2}$  - 12 and 22 days, constants of elimination and absorption – 0.058 and 0.032, respectively) has been established.

**Keywords:** arsenic, antimony, slurry pits wastewaters, white rats, absorption constant, elimination constant.

Материал поступил в редакцию 28.02.2019 г.