

Антитоксическое действие селеноорганических соединений при отравлении нитратом свинца самцов белых крыс

© 2012. Н. Ю. Русецкая¹, к.б.н., доцент, В. И. Дьякова², врач, В. Н. Чупис³, д.ф.-м.н., профессор, Б. И. Древко⁴, д.х.н., зав. кафедрой, Н. В. Емельянова³, к.б.н., нач. отдела, В. А. Мартынова¹, аспирант, Я. В. Бородулин¹, студент, В. Б. Бородулин¹, д.м.н., зав. кафедрой,

¹Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского,

²Волгоградский медицинский центр Федерального медико-биологического агентства России,

³Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии,

⁴Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова,
e-mail: natfom-2006@yandex.ru

Исследована антитоксическая активность соединения 1,5-дифенил-3-селенапентандион-1,5 (ДАФС) и его хлор-, фтор- и нитропроизводных при подостром отравлении крыс нитратом свинца. Соединение ДАФС оказывало наиболее выраженное антитоксическое действие, что подтверждалось нормализацией биохимических и клинических показателей крови крыс. Остальные соединения не обладали выраженной антитоксической активностью.

Antitoxic activity of 1,5-diphenyl-3-selenapentadion-1,5 (DAPS) and its chloride, fluoride- and nitro derivatives at poisoning rats with lead nitrate was investigated. Compound DAPS is the most effective antitoxicant. It is suggested by normalizing biochemical and clinical parameters of rat's blood. The other compounds didn't have antitoxic activity.

Ключевые слова: антитоксическое действие, селеноорганическое соединение, нитрат свинца

Keywords: antitoxic activity, selenium-organic compound, lead nitrate

Загрязнение окружающей среды тяжёлыми металлами (ТМ), постоянная интоксикация человека в условиях неблагоприятной экологической обстановки делает актуальным вопрос о поиске эффективных антиотксикантов при отравлении солями ТМ как животных, так и человека. Из всех классов неорганических соединений, поступающих в биосферу в результате человеческой деятельности, наибольшее внимание привлекают ТМ. В их число, согласно решению Целевой группы по выбросам Европейской экономической комиссии ООН, включены Pb, Cd, Hg, Ni, Co, Cr, Cu, Zn и др. Токсичность ионов непереходных металлов Pb^{2+} , Hg^{2+} , CH_3Hg^+ и Cd^{2+} обусловлена образованием комплексов с аминокислотами и другими биомолекулами, содержащими концевые тиогруппы. Другой важный механизм токсического действия свинца заключается в вытеснении эссенциальных металлов из металлосодержащих комплексов, приводящем к потере последними биологической активности [1].

Вместе с тем известно о значительной антиотксической активности (АТА) ряда селеноорганических соединений (СОС) [2 – 5].

В связи с этим целью данной работы явилось изучение АТА диацетофенонилселени-

да (ДАФС) и его производных при подостром отравлении (ПО) нитратом свинца самцов белых крыс.

Материалы и методы

В эксперименте использовали селеноорганические препараты (рис. 1): 1,5-дифенил-3-селенапентандион-1,5 – ДАФС (препарат 1), 1,5-ди-(п-хлорфенил)-3-селенапентандион-1,5 (препарат 2), 1,5-ди-(п-фторфенил)-3-селенапентандион-1,5 (препарат 3), 1,5-ди-(м-нитрофенил)-3-селенапентандион-1,5 (препарат 4) и $Pb(NO_3)_2$ в концентрации 140 мг/кг, что соответствует LD_{50} для солей свинца, в частности для нитрата свинца, при отравлении крыс [6]. Поскольку препараты 1, 2, 3 и 4 нерастворимы в воде, их растворяли в рафинированном дезодорированном подсолнечном масле.

Эксперимент проводили на самцах белых крыс возрастом 6 месяцев и массой 200 г. Каждая экспериментальная группа включала 5 животных. Животных первой группы (контроль) ежедневно кормили растительным маслом в количестве 50 мкл. Животных второй, третьей, четвертой и пятой групп ежедневно кормили препаратами 1, 2, 3, 4 соответствен-

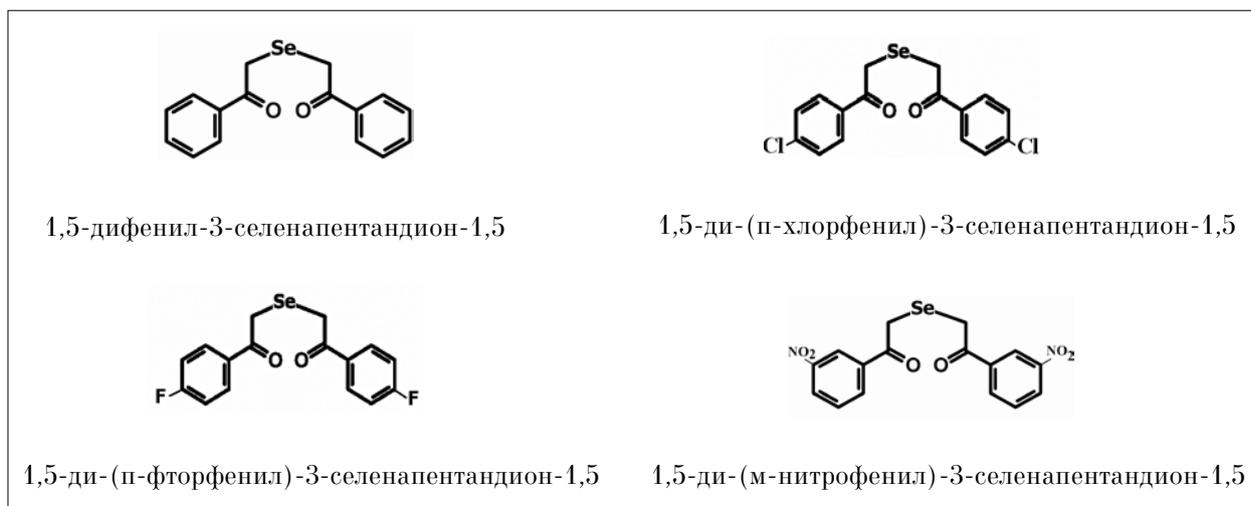


Рис. 1. Селеноорганические препараты, использованные в работе

но в количестве 50 мкл, с дозой 800 мкг/кг. Суточная доза селена для человека и животных, в том числе крыс, составляет 70–200 мкг [7]. Молекулярная масса препарата 1 (ДАФС) равна 317, в которой атомная масса селена соответствует 79, что составляет 25% от общей молекулярной массы препарата 1. В эксперименте использовали дозу СОС 800 мкг/кг, поскольку она соответствует суточной дозе селена 200 мкг/кг. Животным шестой группы ежедневно перорально вводили нитрат свинца (НС) в количестве 50 мкл, с дозой 140 мг/кг. Животным седьмой, восьмой, девятой и десятой групп ежедневно перорально вводили препараты 1, 2, 3, 4 соответственно в количестве 50 мкл и через 1 час перорально вводили $Pb(NO_3)_2$ в количестве 50 мкл. Эксперимент проводили в течение 14 дней.

Сыворотку крови получали из крови, взятой из вены сафена (saphenous vein) [8]. Состояние здоровья животных оценивалось по основным биохимическим и клиническим показателям крови. Биохимический анализ включал определение в сыворотке крови активности ферментов (γ -глутамилтрансферазы (ГГТ), аланинаминотрансферазы (АлАТ), аспаратаминотрансферазы (АсАТ)), состояния белково-образующей функции печени (альбумин, общий белок) и мочевыделительной системы (креатинин, мочевины), а также определение концентрации глюкозы и холестерина. Для проведения клинико-лабораторного исследования сыворотки крови опытных животных использовали полуавтоматический анализатор «Hospitex Screen master plus» с использованием стандартных наборов реактивов фирмы ЗАО «Диакон ДС» (Россия).

Исследование общих показателей крови включало определение количества гемоглобина, эритроцитов, лейкоцитов, гематокрита, приготовление мазка крови и подсчет тромбоцитов. Методы являются унифицированными [9]. Кроме того, проводили подсчет лейкоцитарных индексов интоксикации (ЛИИ) по формулам Я. Я. Кальф-Калифа [10] и В. К. Островского [11, 12]. Антитоксическое действие селеноорганических препаратов оценивалось по нормализации всех параметров токсичности.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

Результаты биохимического анализа крови показали, что селеноорганические препараты не оказывали значительного токсического действия на организм экспериментальных животных. Однако можно отметить увеличение активности АсАТ на 66,3% и увеличение концентрации креатинина крови на 62% у мышей пятой группы, получавших препарат 4 ($P < 0,05$) (табл. 1). Пероральное введение препаратов 1, 2, 3 не сопровождалось достоверными изменениями биохимических показателей крови у экспериментальных животных.

НС оказывает значительное токсическое действие на организм экспериментальных животных, поражая, главным образом, почки и печень. О нефротоксическом действии соли свинца свидетельствует увеличение в крови концентрации креатинина на 58% и мочевины на 93,5%. Гепатотоксическое действие характеризуется снижением активности фер-

Таблица 1
Биохимические показатели крови крыс при подостром отравлении нитратом свинца

Показатель	Экспериментальные группы животных									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Глюкоза, ммоль/л	3,71±1,03	3,9±0,94	2,82±0,38	2,76±0,36	1,96±0,15	2,48±0,21	1,69±0,19	1,17±0,13	2,52±0,22	1,0±0,27
Общий белок, г/л	69,58±3,88	70,14±7,87	69,76±3,49	79,08±4,2	75,68±2,44	75,66±2,57	70,62±1,89	75,48±2,58	75,86±2,08	75,1±3,2
Альбумин, г/л	32,94±3,01	30,76±2,15	33,37±1,2	32,38±1,36	31,8±1,41	31,16±1,95	26,56±2,34	30,52±1,55	31,2±1,84	30,62±1,82
Креатинин, мкмоль/л	36,376±3,74	43,42±3,32	39,52±1,26	49,29±4,28	58,92±4,85*	57,49±5,84*	44,89±2,28	50,71±3,41*	52,05±2,66*	51,11±3,33*
Мочевина, ммоль/л	3,972±0,675	4,6±0,43	5,8±0,56	5,39±0,12	4,86±0,15	7,68±0,76*	4,67±0,39	4,69±0,33	3,67±0,44	4,14±0,21
Холестерин, ммоль/л	1,342±0,15	1,91±0,31	1,29±0,09	1,49±0,05	1,35±0,17	0,98±0,13	1,27±0,06	1,126±0,08	1,38±0,13	1,81±0,19
АлАТ, МЕ	44,8±8,25	42,34±6,24	34,36±5,08	35,14±4,68	59,28±9,45	23,44±7,12	53,2±4,67	36,86±5,32	51,06±5,59	50,4±4,16
АсАТ, МЕ	101,1±11,28	124±21,58	134,46±17,84	147,1±15,21	168,1±11,51*	153,3±18,78	169,76±14,67*	124,62±13,83	197,86±19,25*	200,56±14,02*
ГГТ, МЕ	14,36±1,25	13,44±0,65	15,06±1,1	15,96±1,93	16,4±1,79	7,68±0,19*	5,62±0,42*	8,08±0,34*	13,94±1,92	7,13±0,29*

Примечание: * различия достоверны при $P < 0,05$.

мента ГГТ на 46,5% по сравнению с контролем ($P < 0,05$) (табл. 1).

Все исследованные препараты оказывали нефропротекторное действие при ПО крыс НС. Наиболее выраженными антитоксическими свойствами обладал препарат 1, поскольку при его предварительном введении нормализовалась концентрация креатинина и мочевины в крови.

Антитоксический эффект препаратов 2, 3 и 4 был менее выраженным (табл. 1), т. к. при превентивном введении этих препаратов нормализовалась только концентрация мочевины в крови, а концентрация креатинина в крови оставалась повышенной на 39,4% (препарат 2), 39,0% (препарат 4) и 43,1% (препарат 3) соответственно по сравнению с контрольной группой ($P < 0,05$). Также обращает на себя внимание сниженная активность ГГТ у мышей 7, 8 и 10-й групп и повышенная активность АсАТ у мышей 7, 9 и 10-й групп.

Концентрация глюкозы, общего белка, альбумина и холестерина, а также активность АлАТ не отличались достоверно от контроля во всех группах экспериментальных животных. Следовательно, биохимические показатели крови экспериментальных животных показали, что наибольшей АТА при ПО крыс НС обладал препарат 1. Препараты 2 и 4 оказывали менее выраженное антитоксическое действие; препарат 3 демонстрировал незначительный антитоксический эффект.

Следовательно, токсическое действие соли свинца на организм приводит к инактивации ряда ферментов, нарушению метаболических процессов, накоплению токсичных продуктов (мочевина, креатинин и др.). Все перечисленные явления приводят к развитию экзогенной и эндогенной интоксикации.

Предварительное введение в организм экспериментального животного селеноорганического препарата позволяет обезвредить ион ТМ, активировать ферменты антиоксидантной защиты и как следствие – снизить тяжесть интоксикации.

В клинической практике для оценки эндотоксикации используют различные лейкоцитарные индексы интоксикаций (ЛИИ), которые являются наиболее простыми, доступными и достаточно информативными показателями и отражают степень воспалительного ответа организма на действие экзо- и эндотоксинов.

Кроме того, при отравлении солями ТМ и при эндогенной интоксикации отмечается снижение концентрации гемоглобина, увеличение количества лейкоцитов и нейтрофилов, умень-

шение количества эозинофилов и тромбоцитов [9]. Поэтому для оценки тяжести отравления солями ТМ и АТА халькогенорганических соединений (СОС) целесообразно определять общее содержание клеток крови (лейкоцитов, эритроцитов и тромбоцитов), количество отдельных форм лейкоцитов крови, а также гематокрит.

Исследуемые СОС благодаря своей гидрофобной структуре оказывали некоторое токсическое действие на организм экспериментальных животных. Наиболее токсичным являлся препарат 3, т. к. при его поступлении в организм *per os* наблюдался лейкоцитоз – увеличение в крови числа лейкоцитов на 13,7% и числа эритроцитов на 16,7%, а также значительное увеличение ЛИИ по формуле Я. Я. Кальф-Калифа на 326% и по формуле В. Островского – на 115%. Токсичность препарата 4 подтверждалась увеличением ЛИИ по формуле Я. Я. Кальф-Калифа на 353,66% (табл. 2). Однако ЛИИ по формуле В. Островского увеличивался лишь на 36,4% ($P < 0,05$).

Менее токсичным оказался препарат 2, т. к. его применение сопровождалось увеличением ЛИИ по формуле В. Островского на 60,6% ($P < 0,05$), тогда как ЛИИ по формуле Я. Я. Кальф-Калифа соответствовал норме (табл. 2). Остальные лабораторные показатели крови также соответствовали норме. Ещё менее токсичным был препарат 1, поскольку при его введении *per os* лишь незначительно увеличивалось число лейкоцитов (на 35,0%) и эритроцитов (на 15,89%), а также наблюдалось увеличение ЛИИ по формуле В. Островского на 52,7% ($P < 0,05$), тогда как ЛИИ по формуле Я. Я. Кальф-Калифа соответствовал норме. Остальные лабораторные показатели крови при введении соединения 1 также соответствовали норме (табл. 2).

Подострое отравление солью свинца сопровождалось сокращением числа эритроцитов на 14,3%, уменьшением концентрации гемоглобина на 24,17% и снижением гематокрита на 21,2% ($P < 0,05$). ЛИИ по формуле Я. Я. Кальф-Калифа, напротив, значительно увеличивался на 1363%, ЛИИ по формуле В. Островского возрастал на 385%, что свидетельствовало о тяжёлой интоксикации организма экспериментального животного.

Из исследованных халькогенорганических соединений эффективными антитоксикантами при ПО НС являлись препараты 4 и 1 (табл. 2). При предварительном введении препарата 4 все исследованные клинические показатели крови экспериментальных животных соответствовали норме.

Таблица 2

Лабораторные показатели крови крыс при подостром отравлении нитратом свинца

Показатель	Экспериментальные группы животных									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Лейкоциты	10,16±0,15	13,72±0,56*	12,3±1,05	8,77±0,34*	11,2±1,1	11,37±0,42	13,17±0,39*	11,36±0,76	15,64±1,49*	8,68±0,63
Эритроциты	7,11±0,03	8,24±0,2*	7,2±0,23	8,3±0,42*	7,15±0,32	6,09±0,24*	6,41±0,34	7,67±0,52	7,38±0,24	7,4±0,2
Гемоглобин	123,8±4	129±6,0	120±8	132±4,8	119±8,7	93,86±1,95*	96,43±8,81*	126,67±4,27	98,5±9,05	133,2±4,66
Гематокрит	37,1±1,5	38,2±1,2	36,0±0,98	41±2,1	41,2±2,4	29,23±0,99*	31,14±2,03	41,5±2,43	33,75±2,14	39,72±1,1
Тромбоциты	720,5±39,7	660±33,0	740±36,7	900±71	835±37,9	910±76,94	630,83±17,72	728,17±25,01	685,33±23,54	702,5±35,6
Пал/ядерные	0,14±0,37	0,11±0,33	0,14±0,38	0,25±0,46	0,75±0,88	0,125±0,35	0	1,17±0,41	1,17±0,41	0,14±0,38
Сегм/ядерные	16,33±1,632	25,16±0,59	27,83±0,75*	34,33±1,03*	23,0±1,29	54,29±3,09*	25,67±2,87	21,4±2,61	44,0±3,37*	17,83±1,72
Моноциты	7,16±0,75	3,0±0,76*	4,0±0,71*	1,14±0,69*	13,12±0,83*	8,0±0,53	5,14±0,69	21,33±2,73*	6,17±0,75	1,17±0,41*
Лимфоциты	69,6±2,3	63,33±2,16	63,17±1,94	62,56±1,94	60,17±1,72	36,75±2,49*	63,14±3,98	75,17±3,55	48,17±2,48*	74,83±3,71
Эозинофилы	4,89±0,78	5,7±0,95	5,4±0,89	1,83±0,41*	0,83±0,41*	0,71±0,49*	6,83±0,75	0*	3,17±0,41*	6,71±0,49
ЛНИИ Кальф-Калифа Я.Я.	0,041±0,007	0,057±0,01	0,058±0,004	0,175±0,005*	0,186±0,009*	0,6±0,018*	0,045±0,005	0,25±0,02*	0,219±0,03*	0,03±0,009
ЛНИИ Островского В.	0,239±0,008	0,365±0,005*	0,384±0,007*	0,514±0,011*	0,326±0,021*	1,16±0,07*	0,32±0,05	0,238±0,01	0,78±0,05*	0,217±0,025

Примечание: * различия достоверны при $P < 0,05$. Обозначения: Пал/ядерные – палочкоядерные, Сегм/ядерные – сегментоядерные.

При использовании препарата 1 в качестве антиотоксиканта отмечалось увеличение числа лейкоцитов на 29,6% и уменьшение концентрации гемоглобина на 22,1% ($P < 0,05$) по сравнению с контролем. Остальные лабораторные показатели, включая ЛИИ, соответствовали контрольным значениям.

Применение препарата 2 как антиотоксиканта при отравлении солью свинца было не эффективно, т. к. ЛИИ по формуле Я. Я. Кальф-Калифа был значительно увеличен, на 509% ($P < 0,05$). Остальные показатели, включая ЛИИ по формуле В. Островского, соответствовали данным контрольной группы. Препарат 3 не обладал АТА при ПО НС, поскольку применение этого препарата не сопровождалось нормализацией лейкоцитарной формулы. При использовании препарата 3 в качестве антиотоксиканта ЛИИ по формуле Я. Я. Кальф-Калифа увеличивался на 434%, а ЛИИ по формуле В. Островского – на 226% ($P < 0,05$). Кроме того, отмечалось увеличение числа лейкоцитов на 53,94% по сравнению с контролем.

Следовательно, ПО солью свинца могли эффективно предотвращать препараты 4 и 1. Препараты 2 и 3 не оказывали антиотоксического действия при отравлении $Pb(NO_3)_2$.

Суммируя биохимические и лабораторные показатели крови крыс при ПО НС, можно сделать вывод о значительной АТА препаратов 1 и 4.

Мы предполагаем, что важный вклад в антиотоксическое действие изученных соединений вносит атом селена, способный освобождаться из СОС и использоваться для синтеза селенопротеинов и селеноферментов, которые и оказывают антиотоксический эффект.

Освобождение атома селена из СОС возможно вследствие разрыхления связи С-Se, что, в свою очередь, происходит благодаря оттягиванию электронных плотностей на заместители (карбонильную и нитрогруппы). Карбонильная группа в составе всех препаратов обладает отрицательным индуктивным эффектом и способна оттягивать электроны от связи С-Se, разрыхляя её. Нитрогруппа в составе препарата 4 также способна вызывать разрыхление связи С-Se, т. к. она обладает отрицательным мезомерным эффектом и способна оттягивать на себя электронную плотность в сопряжённой системе [13].

Галогены (атомы хлора и фтора) в составе препаратов 2 и 3 соответственно имеют отрицательный индуктивный эффект и, обладая неподелённой парой электронов, оказывают положительный мезомерный эффект, который по

величине больше отрицательного индуктивного эффекта. Следовательно, атомы хлора и фтора в составе препаратов 2 и 3 не вносят вклада в разрыхление связи С-Se. Кроме того, галогены обладают окислительными свойствами, что обуславливает токсичность этих соединений и как следствие – их незначительный антиотоксический эффект [13].

В заключение следует отметить снижение АТА исследованных СОС в направлении: 1>4>2>3. Следовательно, наиболее эффективным антиотоксикантом при отравлении НС являлся препарат 1 – 1,5-дифенил-3-селенапентандион-1,5 (ДАФС).

Литература

1. Исидоров В.А. Введение в химическую экотоксикологию: Учеб. пособие. СПб.: Химиздат, 1999. 144 с.
2. Koyanagi T., Nakamuta M., Enjoji M., Iwamoto H., Motomura K., Sakai H., Nawata H. The selenoorganic compound ebselen suppresses liver injury induced by *Propionibacterium acnes* and lipopolysaccharide in rats // *Int. J. Mol. Med.* 2001. V. 7. № 3. P. 321–322.
3. Kono H., Arteel G.E., Rusyn I., Sies H., Thurman R.G. Ebselen prevents early alcohol-induced liver injury in rats // *Free Radic Biol Med.* 2001. V. 30. № 4. P. 403–411.
4. Dhanarajan R., Abraham P., Isaac B. Protective effect of ebselen, a selenoorganic drug, against gentamicin-induced renal damage in rats // *Basic Clin. Pharmacol. Toxicol.* 2006. V. 99. № 3. P. 267–272.
5. Пат. RU 2325155 С1 МПК А 61 К 31/33 А 61 Р 39/02. Средство для лечения и профилактики отравлений соединениями тяжёлых металлов. / О. В. Федотова, Я. Б. Древко, В. Б. Бородулин, Н. Ю. Фомина, А. Н. Мольченкова / (ГОУ ВПО Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского). – № 2007115619/15; Заявл. 26.04.2007; Опубл. 27.05.2008. Бюл. № 15.
6. Ершов Ю.А., Плетнева Т.В. Механизмы токсического действия неорганических соединений. М.: Медицина, 1989. 272 с.
7. Руководство по контролю качества питьевой воды. Том 2. Гигиенические критерии и другая релевантная информация. Часть III. Неорганические компоненты, оказывающие влияние на здоровье. Всемирная организация здравоохранения. Женева. 1987. 38 с.
8. Hem A., Smith A.J. & Solberg P. Saphenous vein puncture for blood sampling of the mouse, rat, hamster, gerbil, guinea pig, ferret and mink // *Laboratory Animals.* 1998. V. 32. P. 364–368.
9. Клиническая лабораторная диагностика: методы исследования. Учебное пособие для студентов специальностей «фармация», «клиническая фармация», «лабораторная диагностика» высших учебных заведений / Под ред. проф. И.А. Зупанца. Харьков: Издательство НФАУ. «Золотые страницы», 2005 г. 200 с.

10. Кальф-Калиф Я.Я. О лейкоцитарном индексе интоксикации и его практическом значении // Врачебное дело. 1941. № 1. С. 31–35.

11. Островский В.К., Мащенко А.В., Янголенко Д.В., Макаров С.В. Показатели крови и лейкоцитарного индекса интоксикации в оценке тяжести и определении прогноза при воспалительных, гнойных и гнойно-

деструктивных заболеваниях // Клин. лаб. диагностика. 2006. № 6. С. 50–53.

12. Островский В.К., Машенко А.В., Макаров С.В. Оценка тяжести и прогноз гнойно-деструктивных заболеваний органов брюшной полости // Хирургия. 2007. № 1. С. 33–37.

13. Тюкавкина Н.А. Биоорганическая химия: учебник для вузов. М.: Дрофа, 2004. 544 с.

УДК: 57.084.1

Изучение влияния соединений алюминия на тест-организмы в условиях модельного эксперимента

© 2012. Н. В. Вараксина¹, аспирант, Т. Я. Ашихмина², д.т.н., зав. лабораторией, А. С. Олькова¹, к.т.н., ст. преподаватель,

¹Вятский государственный гуманитарный университет,

²Лаборатория биомониторинга Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН и Вятского государственного гуманитарного университета, e-mail: natavv88@inbox.ru

Приведены результаты исследования токсичности хлорида и сульфата алюминия методами биотестирования. Построен ряд чувствительности тест-организмов к данным соединениям алюминия. Установлено хроническое токсическое действие низких доз солей алюминия.

The results of determining toxicity of aluminum chloride and sulfate by bioassay methods are presented. A series of test organisms' sensitivity to these compounds of aluminum is offered. Chronic toxic effect of aluminum salts in low doses is stated.

Ключевые слова: соединения алюминия, токсичность, биотестирование

Keywords aluminum compounds, toxicity, biological testing

Введение

Алюминий является одним из самых распространённых элементов в земной коре, содержится практически в любой природной воде. Данный элемент попадает в природные воды как естественным путем при частичном растворении глин и алюмосиликатов, так и в составе вредных выбросов отдельных производств (электротехническая, авиационная, химическая и нефтеперерабатывающая промышленность, машиностроение, строительство, оптика, ракетная и атомная техника) с атмосферными осадками или сточными водами. Соли алюминия также широко используются в качестве коагулянтов в процессах водоподготовки для коммунальных нужд. Содержание алюминия в поверхностных водах сильно зависит от степени кислотности почв [1].

Наиболее изучены токсические эффекты соединений алюминия для растений. Так для ячменя было выявлено, что высокие кон-

центрации алюминия (4 мг/кг песка) вызывают изменения в фотосинтетическом аппарате, ингибируют рост и накопление биомассы растений [2].

Имеются сведения о воздействии алюминия на млекопитающих [3]. Его токсичность проявляется во влиянии на обмен веществ, в особенности минеральный, на функцию нервной системы, в способности действовать непосредственно на клетки – их размножение и рост. Избыток солей алюминия снижает задержку кальция в организме, уменьшает адсорбцию фосфора, одновременно в 10–20 раз увеличивается содержание алюминия в костях, печени, семенниках, мозге и в паразитовидной железе [3, 4]. Свойству нейротоксичности алюминия препятствует механизм его выведения. В обычных условиях с мочой может выделяться до 15 мг элемента в сутки. Соответственно наибольший негативный эффект воздействия ионов алюминия наблюдается у гидробионтов, непрерывно испытыва-