

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. Вараксина<sup>1</sup>, аспирант, Т. Я. Ашихмина<sup>2</sup>, д.т.н., зав. лабораторией, А. С. Олькова<sup>1</sup>, к.т.н., ст. преподаватель,

<sup>1</sup>Вятский государственный гуманитарный университет,

<sup>2</sup>Лаборатория 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-

ющих действие вещества, а среди людей наибольшему риску подвержены люди с нарушенной выделительной функцией почек [3].

Исследователями отмечается постоянно возрастающий уровень содержания алюминия в окружающей среде, в том числе в питьевых водах [5, 6]. В поверхностных водных объектах содержится в 10–20 раз больше соединений алюминия, чем в водах родников. Наиболее интенсивно насыщаются алюминием реки и ручьи экосистем с преобладанием торфянисто-подзолисто-глееватых почв. Концентрация токсичных соединений алюминия в поверхностных водах увеличивается при антропогенном подкислении [7].

Норматив содержания алюминия для вод рыбохозяйственного назначения составляет 0,04 мг/л [8]. Для воды, используемой в хозяйственно-питьевых целях норматив составляет 0,2 мг/л. Однако, этот критерий может быть увеличен до 0,5 мг/л главным государственным санитарным врачом по соответствующей территории для конкретной системы водоснабжения [9].

Несмотря на наличие жёстких нормативов содержания иона алюминия в водах, практически неизученной остаётся проблема влияния соединений алюминия на представителей водной биоты. Имеются данные о крайне негативном влиянии алюминия на мальков рыб. Группой исследователей было выявлено, что алюминий не опасен в природных водах лишь при высоких значениях водородного показателя ( $pH > 6$ ), тогда как при закислении водных экосистем ( $pH \leq 4$ ) алюминий становится высокотоксичным и вызывает массовую гибель молоди рыб [10].

Многие неорганические соединения алюминия сохраняются в растворённом состоянии длительное время и, следовательно, могут оказывать вредное воздействие на живые организмы. Однако, данный вопрос остаётся открытым.

Целью работы было изучение токсичности соединений алюминия для тест-организмов разных трофических групп и выявление более чувствительных к данному воздействию организмов.

## Материалы и методы исследования

В качестве исследуемых веществ нами были выбраны сульфат  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  и хлорид  $AlCl_3 \cdot 6H_2O$  алюминия. При расчёте вводимых добавок веществ ориентировались на ПДК для вод хозяйственно-питьевого назначения. Приготовление исследуемых растворов производилось на питьевой воде централизованной системы водоснабжения (артезианская скважина). При химическом анализе данной воды в её составе не было обнаружено ионов алюминия (в диапазоне измерения от 0,04 до 0,56 мг/л) [11]. Исключением составили растворы, приготовленные для тест-системы «Эколюм», в данном случае исследуемое вещество растворялось в дистиллированной воде. Контролем служила вода без добавления токсиканта.

Для установления острой токсичности исследуемых растворов нами были использованы в качестве тест-объектов организмы разных трофических уровней: простейшие (инфузории *Paramecium caudatum* Ehrenberg), низшие ракообразные (дафнии *Daphnia magna* Straus), одноклеточные водоросли (хлорелла *Chlorella vulgaris* Beijer) и бактерии тест-системы «Эколюм». Также определялась хроническая токсичность по тест-объекту *Daphnia magna*. Все исследования проводились согласно аттестованным методикам [12 – 16].

В основе методики с использованием *Paramecium caudatum* лежит хемотаксическая реакция. Время экспозиции составляет 30 мин. По результатам исследования определяется группа токсичности (табл. 1) [12].

Методика биотестирования с использованием хлореллы основана на регистрации различий в оптической плотности тест-культуры водоросли, выращенной на среде, не содержащей токсичных веществ (контроль), и исследуемых пробах. Время проведения эксперимента согласно методике составляет  $22 \pm 2$  ч. Выделяется 5 степеней токсического действия пробы (табл. 2) [13].

Методика с использованием тест-системы «Эколюм» основана на определении изменений интенсивности биолюминесценции

Таблица 1

Классификация анализируемых проб по группам токсичности для тест-культуры *Paramecium caudatum*

Группы	Величина индекса токсичности, «Т»	Вывод о степени токсичности пробы
1	$0 < T \leq 0,4$	Допустимая степень токсичности
2	$0,4 < T \leq 0,7$	Умеренная степень токсичности
3	$T > 0,7$	Высокая степень токсичности

Таблица 2

Токсикологическая характеристика качества исследуемой воды для тест-культуры *Chlorella vulgaris*

Концентрация тестируемой воды (%), при которой превышен критерий токсичности	Качество воды
100	Слаботоксичная
33	Среднетоксичная
11	Токсичная
3,7	Сильнотоксичная
1,2	Гипертоксичная

Таблица 3

Классификация анализируемых проб по группам токсичности для тест-системы «Эколюм»

Группы	Величина индекса токсичности, «Т»	Вывод о степени токсичности пробы
1	$0 < T < 20$	Образец не токсичен
2	$20 \leq T \leq 49,9$	Образец токсичен
3	$T \geq 50$	Образец сильно токсичен

при воздействии токсичных веществ, присутствующих в анализируемой пробе, в сравнении с контрольной, не содержащей вредных веществ. Острое токсическое действие исследуемой пробы на тест-систему «Эколюм» определяется по ингибированию их биолюминесценции за 30-ти минутный период экспозиции. Количественная оценка параметра тест-реакции выражается в виде индекса токсичности. Методика допускает три пороговых уровня токсичности (табл. 3) [14].

Согласно методике, использующей дафний в качестве тест-объекта, токсичность определяется по их смертности (острая токсичность) и изменению в плодовитости (хроническая токсичность) относительно контрольного образца. Острый эксперимент длится в течение 4 суток, хронический – 24 дня [15].

### Результаты и их обсуждение

В ходе эксперимента по хемотаксической реакции инфузорий устанавливался индекс токсичности растворов сульфата алюминия, содержащих превышение ПДК по иону алюминия в 1, 2, 20, 30, 50 и 70 раз. Увеличение индекса токсичности свидетельствовало о повышении токсичности тестируемой среды. Полученные в ходе экспериментов результаты отражены на рисунке.

На представленной диаграмме видно, что с повышением концентрации алюминия закономерно возрастает токсичность питьевой воды. Эффект наблюдается при концентрации ионов алюминия, равной ПДК: индекс токсичности возрастает в 1,4 раза по сравнению с контрольным вариантом. Добавка равная 2 ПДК переводит модельную воду из категории

не токсичной в умеренную группу токсичности согласно используемой методике [12]. При повышении загрязнения до 70 ПДК вода становится высокотоксичной.

При помощи тест-системы «Эколюм» так же анализировались модельные растворы сульфата алюминия, приготовленные в концентрации 0,2, 0,4, 1,0, 2,0, 3,0, 4,0 мг/л на ион алюминия, что соответствовало превышению ПДК в 1, 2, 5, 10, 15, 20 раз. Результаты экспериментов представлены в таблице 4.

По представленным результатам видно, что бактерии оказались менее чувствительны к сульфату алюминия, чем инфузории: добавка, равная превышению ПДК по алюминию в 2 раза, не оказывала влияния на тест-объект. Однако, повышение загрязнения до 5 ПДК и выше вызывает резкое увеличение индекса токсичности, близкое к максимальному угнетению люминесценции данных бактерий.

В экспериментах с использованием одноклеточной водоросли хлорелла тестировались в серии растворов хлорида и сульфата алюми-

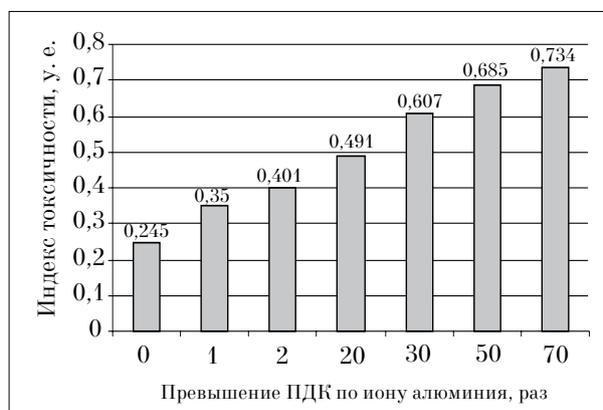


Рис. Результаты биотестирования растворов сульфата алюминия с помощью инфузорий

ния разных концентраций. В ходе экспериментов с сульфатом алюминия было установлено, что в диапазоне концентраций, превышающих ПДК по алюминию от 50 до 80 раз, растворы для хлореллы не токсичны. Загрязнение равно превышению ПДК в 100 раз, делало пробу сильнотоксичной; 200 ПДК – гипертоксичной. Результаты тестирования хлорида алюминия показали, что угнетение хлореллы наступает при превышении ПДК по алюминию в 20 раз (раствор слаботоксичен), при концентрации превышающей ПДК в 30 раз вода становится токсичной. При превышении ПДК более 50 раз среда становится сильнотоксичной. Таким образом, экспериментально установлено, что хлорид алюминия для данного тест-объекта оказался более токсичным веществом по сравнению с сульфатом.

С помощью дафний определялась острая токсичность растворов сульфата алюминия с концентрациями 0,4, 4, 6, 10, 14 мг/л и хлорида алюминия в концентрациях 0,2, 1, 2, 3 и 20 мг/л (по иону алюминия). Установлено, что исследуемые растворы не обладали острой токсичностью. Однако при концентрациях, превышающих 2 мг/л по хлориду и 4 мг/л по сульфату алюминия нами были отмечены морфо-физиологические отличия рачков в опытных вариантах по сравнению с контролем: задержка роста и созревания особей, бледная окраска покровов, снижение двигательной активности, снижение пищевой активности. Например, размер особей в загрязнённых пробах был в 2 раза меньше по сравнению с особями, содержащимися в чистой среде. Кормление дафний во всех вариантах было одинаковым, но выедание кормовых водорослей в контроле было максимальным, а в исследуемых пробах наблюдался водорослёвый осадок, что говорит о снижении пищевой активности рачков. Так же сроки начала размножения в опытных вариантах отличались от контроля на 3-5 дней с постепенным запаздыванием в ответ на возрастание дозы токсиканта.

Отметим, что в первые сутки эксперимента в тестируемых растворах выпадал белый хлопьевидный осадок. По-видимому, произошел постепенный гидролиз соединений алюминия с образованием его малорастворимых гидроксокомплексов.

Отсутствие токсического эффекта при наиболее высокой дозе алюминия (14 мг/л для сульфата и 20 мг/л для хлорида) не означает, что соединения алюминия не действовали на рачков. По отмеченным нами морфо-физиологическим изменениям особей, а также снижению пищевой активности, ряд авторов делают заключение о наличии острого токсического эффекта, так как пищеварительная функция является одним из важнейших объектов диагностики физиологического состояния организма, неспецифически реагирующим на различные внешние воздействия [17]. Так же можно предположить, что для данных организмов вероятно проявление отсроченного токсического эффекта исследуемых веществ [3]. К данному предположению нас подтолкнули отмеченные нами морфо-физиологические изменения рачков. Для подтверждения нашего предположения были проведены серии опытов для выявления хронического токсического действия веществ.

При определении хронической токсичности сульфата алюминия в концентрациях превышающих ПДК по иону алюминия в 30, 50 и 70 раз установлено, что показатели плодовитости дафний соответствовали величинам: 3,9, 1,1, 0,37 особей на самку, тогда как средняя плодовитость в контрольном варианте составила 9,2 особей на одну самку. Из представленных результатов видно, что дафнии в опытных вариантах испытывали сильное угнетение, что способствовало снижению плодовитости в 2 и более раза. Таким образом, подтверждено хроническое токсическое действие по показателю достоверного снижения плодовитости дафний для исследуемых растворов разной концентрации сульфата алюминия.

**Таблица 4**

Результаты биотестирования растворов сульфата алюминия с помощью тест-системы «Эколюм»

Превышение ПДК по иону алюминия, раз	Индекс токсичности, у.е.	Заключение
0 (контроль)	0	Проба не токсична
1	0	
2	0	
5	93,25	Проба сильнотоксична
10	95,62	
15	96,05	
20	96,18	

Для определения хронической токсичности хлорида алюминия были приготовлены растворы с концентрацией 0,2, 1, 20 мг/л по иону алюминия (соответствует превышению ПДК по иону алюминия в 1, 5, 100 раз). Средняя плодовитость дафний в контрольном варианте составила 16,1 особей на одну самку. Показатели плодовитости в опытных вариантах при концентрации хлорида алюминия превышающих ПДК по алюминию в 1, 5 и 100 раз составили соответственно 9,8, 9,2, 0 особей на самку. Следовательно, хроническое токсическое действие по показателю достоверного снижения плодовитости установлено для питьевых вод, содержащих 0,2 и 1 мг/л ионов алюминия. Такие концентрации могут содержаться в водоёмах районов воздействия промышленных предприятий, теплоэлектростанций, а также в питьевых водах, если в качестве коагулянта используется сульфат алюминия.

В варианте с максимальной концентрацией хлорида алюминия (превышение ПДК в 100 раз), угнетение особей достигло того, что дафнии не смогли иметь потомства. Кроме того, рачки погибли раньше окончания срока эксперимента, то есть хроническое токсическое действие констатируется по более строгому параметру – по смертности.

### Заключение

Таким образом, в модельных экспериментах было изучено влияние различных концентраций солей алюминия (хлорида и сульфата алюминия) на тест-объекты разных трофических групп.

Установлено, что хлорид алюминия является более токсичным для культуры водоросли *Chlorella vulgaris*, чем сульфат алюминия.

В краткосрочных экспериментах (продолжительность 4 дня), с использованием тест-объекта *Daphnia magna*, было выявлено, что соли алюминия в исследуемом диапазоне концентраций (от 0,4 до 14 мг/л для сульфата, от 0,2 до 20 мг/л для хлорида) не оказывали острого токсического действия на данный тест-организм. Однако нами было отмечено угнетение роста и развития особей.

Хронический эксперимент (продолжительность 24 дня) показал, что модельные растворы веществ, во всех исследуемых концентрациях, обладали токсическим эффектом для дафний.

Среди живых организмов, подвергавшихся воздействию солей алюминия, наиболее чувствительными оказались инфузории и бактерии тест-системы «Эколюм».

По результатам проведённых экспериментов можно построить следующий ряд по уменьшению чувствительности к соединениям алюминия среди выбранных нами тест-объектов: инфузории > бактерии тест-системы «Эколюм» > хлорелла > дафнии. Однако в хроническом эксперименте дафнии проявили высокую чувствительность к хлориду и сульфату алюминия.

Следовательно, поступление алюминия в водные объекты выше установленного норматива может оказывать негативное влияние на живые организмы и представляет опасность для водных экосистем.

*Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных – кандидатов наук № МК-3326.2012.5.*

### Литература

1. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1989. 527 с.
2. Головкин Т.К., Родина Н.А., Куренкова С.В., Табаленкова Г.Н. Ячмень на севере (селекционно-генетические и физиолого-биохимические основы продуктивности). Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 156 с.
3. Авцын А.П., Жаваронков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. М: Медицина, 1991. 496 с.
4. Чернова С.П., Курочкина М.В. Создание образцов для контроля качества питьевой воды // Вестник удмуртского университета. Физика. Химия. Вып. 2. 2011. С. 87–90.
5. Lopez F.F., Cabrera C., Lorenzo M.L. Aluminum content of drinking waters, fruit juices and soft drinks: Contribution to dietary intake // Health Stream. № 28. 2002. P. 11.
6. Сынзыныс Б.И., Шарецкий А.Н., Харламова О.В. Иммунотоксичность хлористого алюминия // Гигиена и санитария. 2004. № 4. С. 70–72.
7. Толпешта И.И. Соединения алюминия в поверхностных водах и почвах различных экосистем южной тайги верхней части бассейна р. Межи // Водные ресурсы. 2012. Т. 39. № 1, С. 99–110
8. Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».
9. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (с изменениями на 28 сентября 2007 года).
10. Никаноров А.М., Трунов Н.М. Внутриводоемные процессы и контроль качества природных вод / Под ред. Бедрицкого А.И. С-Пб.: Гидрометеоздат, 1999. 150 с.

11. ПНД Ф 14.1:2:4.166-2000. Методика выполнения измерений массовой концентрации алюминия в пробах природных, очищенных сточных и питьевых вод методом фотометрическим методом с алюминоном.

12. ФР. 1.31.2005.01881 (ред. 2010) Методика определения токсичности проб природных, питьевых, хозяйственно-питьевых, хозяйственно-бытовых сточных, очищенных сточных, сточных вод экспресс-методом с применением прибора «Биотестер». ООО «СПЕКТР-М», 2010. 13 с.

13. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04, 16.1:2:3.7-04 (изд. 2007 г.) Методика определения токсичности проб поверхностных, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек их почвы, осадков сточных вод и отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer), Красноярск: КрасГУ, 2007.

14. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04 16.1:2:3:3.8-04 Методика определения токсичности воды и водных вытя-

жек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой «Эколюм». 2010.

15. ФР. 1.39.2007.03222 Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. М.: Акварос, 2001. 48 с.

16. Олькова А.С., Скугорева С.Г., Адамович Т.А., Вараксина Н.В., Ашихмина Т.Я. Оценка состояния водных объектов методами биотестирования в зоне влияния промышленных предприятий (на примере Кирово-Чепецкого химического комбината) // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 3. С. 46–52.

17. Грасси О. А., Соколова Е. Г. Фильтрационная активность пресноводных двухстворчатых моллюсков и влияние на нее токсических факторов // Реакция гидробионтов на абиотические воздействия: к разработке теоретических основ биотестирования. Изд. Ярославского ГУ, 1984. С. 101–106.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова  
Институт экологического почвоведения МГУ  
Музей земледования и Экоцентр МГУ  
Биологический факультет  
Факультет почвоведения  
Российская академия наук  
Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова

**Международная конференция  
БИОДИАГНОСТИКА В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ПОЧВ  
И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СРЕД  
4–6 февраля 2013 г.**

Глубокоуважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в Международной конференции «БИОДИАГНОСТИКА В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ПОЧВ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СРЕД», которая будет проходить 4–6 февраля 2013 г. в Москве, МГУ. В программе конференции устные и стендовые доклады, выставка печатной продукции и оборудования, дискуссии по следующим направлениям:

1. Методология биодиагностики. Методологические основы биоиндикации, биотестирования и концепции экологического нормирования.
2. Источники воздействий. Источники воздействий, подлежащих контролю, и их влияние на экологическое качество почв, водной и воздушной сред.
3. Биоиндикация. Зоо-, фито- и микробиотическая индикация нарушений почв и сопредельных сред в естественных, агро- и урбоэкосистемах.
4. Биотестирование. Информативность и воспроизводимость методов биотестирования в разных областях применения, стандарты ИСО.
5. Интеграция данных для нормирования. Математические модели и подходы к интеграции данных биоиндикации и биотестирования для задач экологического нормирования.

**Основные даты**

Прием тезисов	с 1 августа по 30 сентября 2012 г. на сайте <a href="http://www.bioassay2013.ru">www.bioassay2013.ru</a>
Начало регистрации	1 августа 2012
Ранняя регистрация	до 15 октября 2012
Поздняя регистрация	до 1 декабря 2012

**Контакты**

119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр.12, ф-т почвоведения МГУ;  
e-mail: [bioassay2013@gmail.com](mailto:bioassay2013@gmail.com). Оргкомитет конференции «Биодиагностика – 2013»