

УДК 546.62+504.054

DOI: <https://doi.org/10.17816/MAJ64912>

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ АЛЮМИНИЯ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ, ВЛИЯНИЕ НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ, СНИЖЕНИЕ ЕГО ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

В.Е. Кутай, В.Ю. Цыганков

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

Как цитировать: Кутай В.Е., Цыганков В.Ю. Физико-химические свойства и распространение алюминия в окружающей среде, влияние на живые организмы, снижение его токсического действия // Медицинский академический журнал. 2021. Т. 21. № 2. С. 25–36. DOI: <https://doi.org/10.17816/MAJ64912>

Поступила: 07.04.2021

Одобрена: 16.05.2021

Принята: 21.06.2021

В обзоре рассмотрены физико-химические свойства, распределение в окружающей среде, влияние на живые организмы, в том числе токсичность и экотоксичность, способы выведения из организма человека и животных алюминия и его соединений. Анализ научной литературы показал, что широкое распространение алюминия в природе, его использование в сельскохозяйственной, пищевой, косметической, алюминиевой, нефтедобывающей промышленности, медицине, процессах водоподготовки и других отраслях деятельности вызывают повышенное поступление этого элемента в организм человека. Кумулятивный характер токсического действия алюминия и его соединений приводит к негативным последствиям для дыхательной, нервной, опорно-двигательной систем, молочных желез.

Ключевые слова: токсичность алюминия; когнитивные дисфункции; токсикокинетика и токсикодинамика алюминия.

THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND DISTRIBUTION OF ALUMINUM IN THE ENVIRONMENT, THE EFFECT ON LIVING ORGANISMS, THE REDUCTION OF ITS TOXIC EFFECT

Victoriia E. Kutai, Vasilii Yu. Tsygankov

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

To cite this article: Kutai VE, Tsygankov VYu. The physicochemical properties and distribution of aluminum in the environment, the effect on living organisms, the reduction of its toxic effect. *Medical Academic Journal*. 2021;21(2):25–36. DOI: <https://doi.org/10.17816/MAJ64912>

Received: 07.04.2021

Revised: 16.05.2021

Accepted: 21.06.2021

The review examines the physicochemical properties, distribution in the environment, the effect on living organisms, including toxicity and ecotoxicity, ways of removing aluminum and its compounds from the human and animal organism. Analysis of scientific literature has shown that the widespread use of aluminum in nature, its use in the agricultural, food, cosmetic, aluminum, oil-producing industries, medicine, water treatment processes and other fields of activity leads to an increased intake of this element into the human body. The cumulative nature of the toxic effect of aluminum and its compounds leads to negative consequences for the respiratory, nervous, musculoskeletal systems, and mammary glands.

Keywords: aluminum toxicity; cognitive dysfunction; toxicokinetics and toxicodynamics of aluminum.

Обоснование

Алюминий — один из самых распространенных и наиболее часто используемых металлов в жизнедеятельности человека. Содержится в важнейшем для существования живых организмов соединении — воде. Алюминий присутствует в природной воде, алюминиевой посуде, его соединения применяют при очистке воды, что способствует попаданию элемента в питьевую воду. В земной коре содержание данного металла составляет 8 %, в атмосферном воздухе — 0,6–7,0 мкг/л.

В медицине соединения алюминия используют в качестве адъювантов — они входят

в состав вакцин и таких лекарственных препаратов, как антациды и буферный аспирин. Оксид и гидроксид алюминия содержатся во многих косметических средствах для ухода за кожей, ногтями, в антиперспирантах и др. Различные соединения этого элемента обнаруживают в продуктах питания, в том числе в пищевых добавках.

При этом следует учитывать токсичность алюминия. Он является одним из наиболее распространенных нейротоксических элементов, вызывающих в высоких концентрациях когнитивные дисфункции, способствует развитию болезни Альцгеймера [1], участвует в развитии иммунологических заболеваний [2]. Токсичность

элемента подтверждена экспериментами *in vitro*, на животных и результатами эпидемиологических исследований [3], однако механизмы, лежащие в основе этого показателя, не ясны.

В связи с этим **цель обзора** — систематизация знаний о физико-химических свойствах, о токсикокинетике и токсикодинамике алюминия и алюминийсодержащих соединений для поиска новых средств связывания ионов алюминия и их выведения из организма человека и животных.

Физико-химические свойства алюминия и его соединений

С XIX в. алюминий находили и извлекали из горных пород. Его быстро начали использовать для многих целей благодаря таким свойствам,

как низкая гравитация, пластичность, отражательная способность, высокая прочность на растяжение, коррозионная стойкость, легко обрабатываемые формы и высокая электропроводность. Так начался «алюминиевый век» [4].

С течением времени естественные процессы выветривания горных пород и вулканическая активность привели к перераспределению алюминия в окружающей среде посредством осевших в поверхностных водах и на земле аэрозолей.

Алюминий сочетается с кислородом, фтором, кремнием, серой и другими элементами, не находится в естественных условиях в элементарном состоянии, обычно существует в виде бокситов, силикатов и криолита. Такие его соединения, как алкилы, алкилгалогениды, гидриды, бромид, хлорид, йодид, карбид,

Таблица 1 / Table 1

Физико-химические свойства алюминия и его соединений
Physicochemical properties of aluminum and its compounds

Свойство	Алюминий	Алюминия оксид	Алюминия гидроксид	Алюминия фосфат	Алюминия хлорид
Химическая структура	Al	Al ₂ O ₃	Al(OH) ₃	AlPO ₄	Al(Cl) ₃
Физическое состояние	Ковкий, пластичный металл; кубический кристалл	Кристаллический порошок	Объемный аморфный порошок	Тугоплавкий порошок	Белые гексагональные гигроскопичные пластины
Цвет	Серебристо-белый	Белый	Белый	Белый	Белый
Молярная масса, г/моль	26,98	101,94	78,01	121,95	133,34
Плотность при 20 °С, г/см ³	2,70	4,0	2,42	2,56	2,48
Температура плавления, °С	660	~2000	300	>1460	192,6
Точка кипения, °С	2327	2980	Нет данных	Нет данных	182,7 ¹ (температура сублимации)
Растворимость в воде	Нерастворим	Растворим при 4 °С, 0,000098 г/100 см ³ ; нерастворим в горячей воде	Нерастворим	Практически нерастворим	Реагирует бурно с водой с образованием соляной кислоты и тепла
Растворимость в других растворителях	Растворим в HCl, H ₂ SO ₄ , горячей воде и щелочах	Очень мало растворим в кислоте, щелочи	Растворим в щелочных или кислотных растворах	Практически нерастворим в уксусной кислоте; очень мало растворим в концентрированной HCl и HNO ₃ кислотах	Растворим в бензоле, четыреххлористом углероде, хлороформе
Давление пара	1 мм рт. ст. при 1284 °С	1 мм рт. ст. при 2158 °С	Нет данных	Нет данных	1 мм рт. ст. при 100 °С

¹ при 752 мм рт. ст.

хлорат, нитрид и фосфид, активно реагируют с водой, но формы в виде металла, оксида и гидроксида трудно растворимы в воде и органических растворителях [5].

Исследовательский опыт работы с алюминиевыми соединениями обширен и зависит от конкретной физической и химической формы. Наибольший интерес представляют мономерные соединения алюминия: их растворимость в воде зависит от pH, а желудочно-кишечная биодоступность намного выше, чем у гидратированных силикатов алюминия. Подробнее физико-химические свойства соединений алюминия представлены в табл. 1.

Распределение алюминия в окружающей среде

Алюминий занимает первую позицию по содержанию металла в земле, является вторым в рейтинге использования металлов и третьим по распространенности элементом. На рисунке

наглядно представлены основные этапы работы с алюминием и его применение.

Алюминий встречается повсеместно. Уровни его содержания в окружающей среде сильно различаются в зависимости от местоположения, индустриализации, степени загрязнения и места отбора проб: содержание в почвах и горных породах варьирует от 7 до более 100 г/кг в разных географических и геологических районах. В поверхностных водах концентрация алюминия обычно меньше 0,1 мг/л, но в воде с высоким содержанием гуминовой кислоты или фульвокислоты его количество в растворимой форме увеличивается в связи с хорошей растворимостью оксида и солей. Воздействие кислотных дождей с учетом содержания металлов в воде контролируется буферной способностью. Геологические факторы включают природу коренных пород в отношении как основных минералов, так и растворимых в кислоте токсичных металлов, а также глубину, структуру, минеральное и органическое содержание вышележащей почвы.

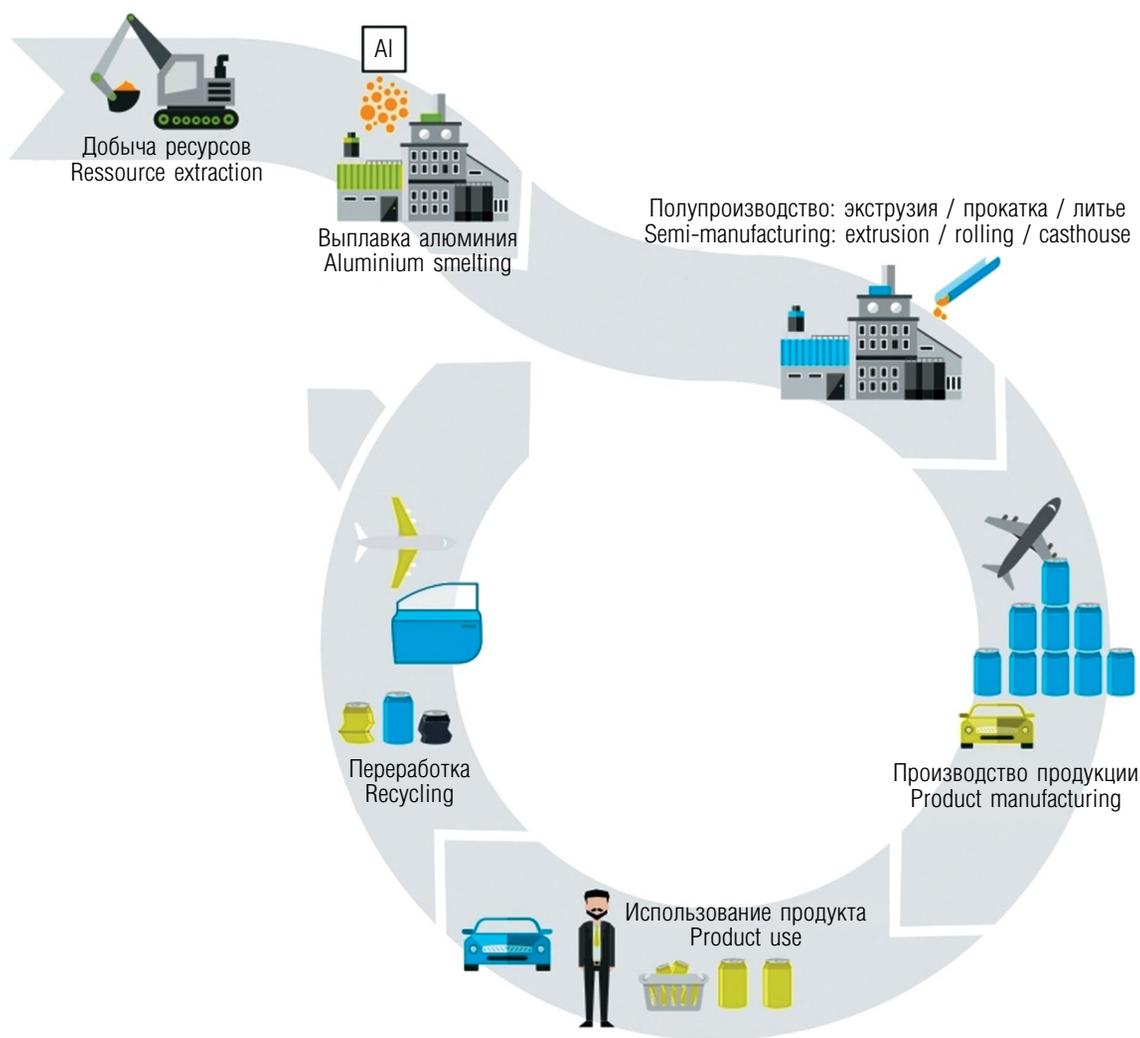


Рисунок. Жизненный цикл алюминия в окружающей среде [6]

Figure. Life cycle of aluminum in the environment [6]

Фоновые уровни алюминия в атмосфере составляют от 0,6 до 7,0 мкг/л. Более высокие уровни наблюдаются в городских и промышленных районах, особенно в промышленно развитых городах и серьезно загрязненных регионах [4, 7].

Многие природные алюмосиликатные минералы образуются в результате геологических гидротермальных процессов. Аналогичные твердые вещества могут образовываться в результате промышленной деятельности, например нефтедобывающей [8].

В автомобильной промышленности и авиации алюминий используют в сплавах с карбидом кремния и графитом, которые улучшают механические и трибологические свойства композиционных материалов [9].

Фосфид алюминия («рисовая таблетка») входит в состав пестицидов, которые отличаются низкой стоимостью и широкой распространенностью. Применяют для защиты зерна от грызунов и других домашних вредителей. Известны случаи массовых агрохимических отравлений (случайных и намеренных), повлекших смерть (Албания, Иран, Саудовская Аравия, Индия, Иран, Субгималайский регион, Непал). Самоотравление пестицидами составляет около 20–25 % самоубийств в Западном Средиземноморье, Африке и Юго-Восточной Азии [10–16].

Гидроксид алюминия, фосфат алюминия и квасцы представляют собой основные формы алюминия, которые широко используют в мире в качестве адъювантов и для усиления иммунного ответа организма [17].

Глинозем и гидроксид алюминия входят в состав таких косметических продуктов, как средства для ногтей, для снятия макияжа и ухода за кожей, помады. Гидроксид алюминия также может содержаться в средствах для гигиены полости рта, для загара [18].

Оксид и гидроксид алюминия используют в косметических средствах: матирующие агенты, абсорбенты, абразивы, антиперспиранты [19].

Из лекарственных препаратов, содержащих алюминий, наиболее распространены и изучены антациды и аспирин [20].

Алюминий применяют при очистке воды, при этом небольшое его количество попадает в воду, он содержится в различных продуктах питания, которые могут прямо или косвенно влиять на организм. Различные соединения алюминия, такие как оксиды, используют в качестве консервантов, наполнителей, красителей, эмульгаторов, что приводит к его повышенному содержанию в определенных продуктах. Алюминийсодержащие пищевые добав-

ки: E523, E541, E554, E555, E556, E558, E559. В смесях для грудных детей также присутствует алюминий [21–23].

Токсикокинетика и токсикодинамика алюминия и его соединений

Биодоступность алюминия зависит от его соединения с другими элементами и присутствия пищевых компонентов, которые могут образовывать комплексы с алюминием, вследствие чего увеличивать или ингибировать его всасывание. При пероральном введении биодоступность алюминия увеличивается за счет цитрата и других карбоновых кислот, кислого pH, уремии, повышенной дозы растворимых форм алюминия, а снижается при введении кремнийсодержащих соединений [20]. Алюминий плохо всасывается при пероральном и ингаляционном воздействии, практически не всасывается через кожу. Обычно абсорбируется примерно 0,1–0,6 % проглоченного алюминия. В случае с гидроксидом алюминия абсорбция составляет около 0,1 %, выведение из внутримышечных участков и из брюшной полости происходит медленно, но завершается через несколько дней, если дозы находятся в физиологических пределах и не смешиваются с анионами хлорида и нитрата [24]. Гидроксид алюминия медленно растворяется в желудке и реагирует с соляной кислотой с образованием хлорида алюминия и воды, подавляет действие пепсина за счет увеличения pH и адсорбции. Более 95 % алюминия выводится почками за счет клубочковой фильтрации, менее 2 % — с желчью.

Токсичное действие алюминия и его соединений носит кумулятивный характер, в первую очередь алюминий накапливается в костях, печени, легких, мозге, что приводит к негативным последствиям для дыхательной, нервной, опорно-двигательной систем.

Многие дисфункции нервной системы могут быть связаны с нейротоксичностью алюминия и его накоплением в организме [19, 25]. Самые ранние исследования датируются 1980–1990 гг. Уже на тот момент возникновение болезни Альцгеймера связывали с нейротоксичностью алюминия. Однако сегодня нет единого мнения о связи между этими двумя факторами, так как в некоторых исследованиях выявляли отложения алюминия при уже начавшейся болезни Альцгеймера, хотя до этого у больных не было избытка алюминия; другие исследователи сообщают о болезни Альцгеймера, индуцированной отложениями алюминия [26].

Алюминий способен проходить гематоэнцефалический барьер, индуцировать различные клеточные повреждения и клеточную гибель.

Алюминий влияет на мембранные функции гематоэнцефалического барьера: увеличивает скорость трансмембранной диффузии, выборочно изменяет насыщаемые транспортные системы без нарушения целостности мембран или изменения гемодинамики центральной нервной системы. Такие изменения в доступе к мозгу питательных веществ, гормонов, токсинов и лекарств могут быть причиной дисфункции центральной нервной системы [27].

Действие алюминия связывают с такими нейродегенеративными заболеваниями, как аутизм, рассеянный склероз, эпилепсия, амилоидная ангиопатия. При рассеянном склерозе обнаружены повышенные концентрации алюминия в мозговой ткани [28]. В других исследованиях выявлена связь нейротоксичности алюминия и эпилепсии: основным местом отложения алюминия выступает гиппокамп; помимо прочего в своей работе ученые упоминают синдром Драве [29]. Повышенные отложения алюминия в головном мозге обнаружены при исследовании мозговой ткани с аутистическим расстройством [30]. Предполагают, что алюминий проявляет цитотоксичность: влияет как на нейроны, так и на нейрональные клетки, его содержание коррелирует с воспалительными клетками. Накопления алюминия носят как внеклеточный, так и внутриклеточный характер. Нейротоксичность алюминия связывают с церебральной амилоидной ангиопатией [31]. В этом случае выявлены внутриклеточное накопление алюминия, связь с воспалительными клетками и клетками нейроглии.

Профессиональное воздействие для работников алюминиевой промышленности обусловлено вдыханием алюминиевой пыли и влиянием наночастиц алюминия на центральную нервную систему [26, 32]. Это происходит вследствие осаждения частиц в альвеолах и дальнейшего попадания их в кровоток, воздействия через носовую полость на обонятельный нейрон и всасывания через системное кровообращение сосудистой оболочки носовой полости. При осаждении частиц в легких развивается фиброз, при контакте алюминиевой пыли и сплавов с кожей развиваются дерматиты. У работников алюминиевой промышленности отмечается также высокий уровень алюминия в моче и плазме крови.

Соединения алюминия накапливаются в костях, где находятся остеобласты, которые выполняют функцию отложения солей кальция, тем самым ухудшается процесс кальцификации и развивается остеопороз. Вместе с тем в организме с избыточным содержанием алюминия могут возникать гиперкальциемия и гиперкальциурия за счет нарушения баланса

кальция, так как откладывающийся в костях алюминий препятствует нормальному процессу отложения солей кальция и вытесняет его. Гипокальциемия развивается в результате синдрома «голодных костей», который заключается в том, что отложенный в костях алюминий хелатирует с помощью дефероксамина и выводится из кости, костная ткань начинает поглощать в большом количестве избыточный кальций в крови, что и приводит к гипокальциемии и низкой концентрации паратиреоидного гормона в сыворотке крови [33]. Период полувыведения алюминия в костной ткани очень длителен и может исчисляться годами. Такие процессы особенно опасны для детей, так как у них формируется костная ткань, но характерны и для людей других возрастных групп, у которых существуют проблемы с почечной функцией, находящихся на гемодиализе/перинеальном диализе/полном парентеральном питании. Алюминий может связываться с трансферрином, что приводит к негативным последствиям [25, 26]. Кроме того, сообщают, что при введении крысам алюминия в дозе 200 мг/кг значительно снижается уровень гемоглобина, лейкоцитов, нарушается регуляция приобретенного иммунного ответа [34, 35].

Алюминий может негативно влиять на органы желудочно-кишечного тракта. По данным одного из исследований [36], воспалительные процессы в толстой кишке обусловлены увеличением количества воспалительных цитокинов, а также алюминий-индуцированной дисфункцией эпителиального барьера, негативным влиянием на экспрессию белков, которые помогают кишечнику выполнять свою барьерную функцию.

Алюминий воздействует на эстроген, передачу сигналов эстрогена и снижает уровень других антиапоптотических молекул. К тому же алюминий влияет на митохондрии и проявляет токсичность, которая может вызывать их дисфункцию. В одном из экспериментов алюминия хлорид индуцировал увеличение активных форм кислорода, что способствовало возникновению окислительного стресса в нервных клетках. Исследователи выявили влияние алюминия хлоридата на определенные белки рецепторов эстрогена: ER α и ER β . В частности, он понижал уровень ER β и повышал уровень ER α , притом что ER β обладает антиоксидантными и антиапоптотическими свойствами и повышение ER α может способствовать ослаблению этих функций. Хлоридат алюминия уменьшал индуцирование ER β как в недифференцированных, так и в нейронально дифференцированных клетках нейробластом. Соединения алюминия влияют на передачу сигнала эстрогена при чувствительном к эстрогену раку

Таблица 2 / Table 2

Острая токсичность алюминия
Acute aluminum toxicity

Компонент	LD ₅₀ *, оральный	LD ₅₀ *, через кожу	LC ₅₀ ** , дыхание
Алюминий	>15900 мг/кг (крыса)	Нет в списке	Нет в списке
Алюминия оксид	Информация отсутствует		
Алюминия гидроксид	>5000 мг/кг (крыса)	Нет в списке	Нет в списке
Алюминия фосфат	>5 г/кг (мышь)	>4640 мг/кг (кролик)	Нет в списке
Алюминия хлорид	3470 мг/кг (крыса)	>2 г/кг (кролик)	Нет в списке

*LD₅₀ — средняя летальная доза; **LC₅₀ — средняя летальная концентрация.

Таблица 3 / Table 3

Экотоксичность алюминия
Aluminum ecotoxicity

Компонент	LC ₅₀ *, рыба: <i>Stenopharyngodon idella</i> (белый амур)	LC ₅₀ *, ракообразные: <i>Daphnia magna</i> (водяная блоха)	LC ₅₀ *, рыба: <i>Oncorhynchus mykiss</i> (радужная форель)	LC ₅₀ *, рыба: <i>Gambusia affinis</i> (гамбузия обыкновенная)
Алюминий	260 мкг/л/96 ч	2,6 мг/л/24 ч	120 мкг/л/96 ч; статический	—
Алюминия хлорид	—	EC ₅₀ : 3,9 мг/л 48 ч EC ₅₀ : 27,3 мг/л 48 ч	—	27,1 мг/л 97 ч

*LC₅₀ — средняя летальная концентрация.

Таблица 4 / Table 4

Хроническая токсичность алюминия хлорида (38)
Chronic toxicity of aluminum chloride (38)

Путь введения/организм	Доза (самая низкая токсическая доза)	Эффекты
Внутри мозговой/мышь	1000 мкг/кг/5 дней с перерывами	Дегенеративные изменения (мозг и покровы), изменение психофизиологических тестов (поведенческие)
Внутрибрюшинно/мышь	1000 мкг/кг/5 дней с перерывами	Негативно влияет на семенники, придаток яичка, семявыносящий проток (репродуктивная система), на метаболизм липидов как посредник, включая транспорт (биохимический)
Внутрибрюшинно/крыса	415 мг/кг/21 день с перерывами	Изменение количества лейкоцитов (кровь), изменение уровня железа (пищевая ценность и общий метаболизм), ингибирование, индукция или изменение активности ферментов в крови или тканях (биохимический)
Внутрибрюшинно/крыса	6000 мг/кг/60 дней с перерывами	Дегенеративные изменения (мозг и покровы), изменение классической обусловленности (поведенческие), ингибирование, индукция или изменение активности ферментов в крови или тканях: оксидоредуктазы (биохимический)
Оральный/кролик	3808 мг/кг/16 нед с перерывами	Негативно влияет на сперматогенез, включая генетический материал, морфологию, подвижность и количество сперматозоидов (репродуктивная система), изменение веса яичек (связанное с хроническими данными), ингибирование, индукцию или изменение активности ферментов в крови или тканях (биохимический)

Путь введения/организм	Доза (самая низкая токсическая доза)	Эффекты
Оральный/мышь	12600 мг/кг/18 нед. с перерывами	Дегенеративные изменения (мозг и покровы), ингибирование, индукция или изменение активности ферментов в крови или тканях — истинной холинэстеразы (биохимический), ингибирование, индукция или изменение активности ферментов в крови или тканях — каталазы (биохимический)
Оральный/крыса	4500 мг/кг/45 дней с перерывами	Изменение психофизиологических тестов (поведенческие), индукция или изменение активности ферментов в крови или тканях — истинной холинэстеразы (биохимический)
Оральный/крыса	2380 мг/кг/70 дней с перерывами	Изменение веса яичек (связанное с хроническими данными), ингибирование, индукция или изменение активности ферментов в крови или тканях (биохимический)
Оральный/крыса	476 мг/кг/4 нед. с перерывами	Дегенеративные изменения (мозг и покровы), ингибирование, индукция или изменение активности ферментов в крови или тканях — истинной холинэстеразы (биохимический), нарушение функциональных тестов печени (печень)
Оральный/крыса	4200 мг/кг/6 нед. с перерывами	Дегенеративные изменения (мозг и покровы), ингибирование, индукция или изменение активности ферментов в крови или тканях — истинной холинэстеразы (биохимический), ингибирование, индукция или изменение активности ферментов в крови или тканях — оксидоредуктазы (биохимический)
Оральный/крыса	5600 мг/кг/16 нед. с перерывами	Изменение психофизиологических тестов (поведенческие), потеря веса или снижение веса (пищевая ценность и общий метаболизм), ингибирование, индукция или изменение активности ферментов в крови или тканях (биохимический)
Оральный/крыса	2307 мг/кг/26 нед. с перерывами	Изменение двигательной активности (специфический анализ) (поведенческие), изменения в составе сыворотки (билирубин, холестерин) (кровь), ингибирование, индукция или изменение активности ферментов в крови или тканях — фосфатазы (биохимический)

молочной железы, индуцируя повышение уровня альфа-белка рецептора эстрогена и др. [37].

Острая токсичность и экотоксичность алюминия показаны в табл. 2, 3. Хроническая токсичность наиболее изучена для алюминия хлорида (табл. 4).

Перспективные способы выведения алюминия из организма человека и животных

Одним из вариантов решения проблемы токсического действия алюминия на здоровье человека заключается в применении материалов

с металлсвязывающей активностью. Наиболее перспективными из них являются некрахмальные полисахариды. Их основными источниками служат наземные растения, морские водоросли и травы, некоторые виды бактерий и грибов [39]. Различные типы некрахмальных полисахаридов обладают разнообразными биологическими свойствами и отличаются по типу воздействия на здоровье человека. Наибольший интерес вызывает их способность взаимодействовать с тяжелыми металлами с образованием ионно-координационных связей с участием карбоксильных и гидроксильных групп

пиранозных циклов уроновых кислот соседних полимерных цепей [40–42]. Это свойство позволяет использовать полиурониды для предупреждения всасывания токсичных металлов из кишечника в кровь и выведения депонированных в организме ионов металлов [43].

Японские ученые идентифицировали два алюминиево-толерантных штамма: Альт-OF2 и Альт-ОФ5 дрожжей, принадлежащих роду *Schizoblastosporion*, как абсорбирующие алюминий. Предложено использование данных штаммов дрожжей для извлечения ионов алюминия из обработанных пищевых продуктов [44].

В ходе исследований на мышах, получавших алюминия хлорид, лечение изоринхофиллином привело к снижению уровня малонового диальдегида, усилению активности супероксиддисмутазы и каталазы, увеличению уровня глутатиона, подавлению активности ацетилхолинэстеразы в тканях мозга мышей. Эксперимент продемонстрировал, что изоринхофиллин снижает нарушения обучения и памяти, вызванные солью алюминия у грызунов [45].

В эксперименте на крысах после совместного введения силимарина с хлоридом алюминия обнаружено исправление нейрональных повреждений в тканях гиппокампа крыс, вызванных введением хлорида алюминия [46]. Другие исследователи при введении животным D-(-)-хинной кислоты наблюдали уменьшение гистопатологических изменений у животных с алюминий-хлорид-индуцированной деменцией типа болезни Альцгеймера [47].

При когнитивных нарушениях, вызванных хлоридом алюминия, одновременный прием цитиколина и сульфата магния показал значительное увеличение индекса дискриминации в распознавании объектов и времени задержки в тесте пассивного избегания на мышах-альбиносах. Таким образом, цитиколин предотвращает ухудшение памяти, вызванное хлоридом алюминия, а сульфат магния инвертирует деструктивное воздействие последнего на память [48].

Закключение

Аналитический обзор проведен в рамках изучения механизмов действия алюминия и алюминийсодержащих соединений и поиска новых средств связывания и выведения. Благодаря изучению физико-химических свойств и влияния на организм человека и млекопитающих алюминия и его соединений стало возможным развитие перспективных методов лечения интоксикации алюминием. По анализируемым исследованиям можно выделить основные органы и системы, наиболее подверженные влиянию алюминия: нервную

(головной мозг), дыхательную (легкие) и опорно-двигательную (кости) системы, печень, органы желудочно-кишечного тракта. В связи с широкой распространенностью алюминия в окружающей среде вопрос о снижении его токсического действия остается актуальным. На сегодняшний день ученые совершенствуют уже существующие методы терапии, исследуют новые способы снижения концентрации алюминия в живых организмах для профилактики и лечения интоксикации этим элементом.

Список литературы

1. Wang L. Entry and deposit of aluminum in the brain // Adv. Exp. Med. Biol. 2018. Vol. 1091. P. 39–51. DOI: 10.1007/978-981-13-1370-7_3
2. Cheng D., Zhang X., Tang J. et al. Chlorogenic acid protects against aluminum toxicity via MAPK/Akt signaling pathway in murine RAW264.7 macrophages // J. Inorg. Biochem. 2019. Vol. 190. P. 113–120. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2018.11.001
3. Cheng D., Wang X., Xi Y. et al. Identification of the Al-binding proteins that account for aluminum neurotoxicity and transport *in vivo* // Toxicol. Res (Camb). 2017. Vol. 7, No. 1. P. 127–135. DOI: 10.1039/c7tx00261k
4. Niu Q. Overview of the relationship between aluminum exposure and health of human being // Adv. Exp. Med. Biol. 2018. Vol. 1091. P. 1–31. DOI: 10.1007/978-981-13-1370-7_1
5. Toxicological Profile for Aluminum [Электронный ресурс] // ATSDR. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2008. Режим доступа: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp22-c4.pdf>
6. The life-cycle of aluminium [Электронный ресурс] // Corporate Communications Department and Sustainability Constellation. Режим доступа: https://www.constellation.com/sites/default/files/constellation_-_life_cycle_of_aluminium.pdf
7. Wills M.R., Savory J. Water content of aluminum, dialysis dementia, and osteomalacia // Environ. Health Perspect. 1985. Vol. 63. P. 141–147. DOI: 10.1289/ehp.8563141
8. North M.R., Fleischer M.A., Swaddle T.W. Precipitation from alkaline aqueous aluminosilicate solutions // Can. J. Chem. 2001. Vol. 79, No. 1. P. 319–325. DOI: 10.1139/v00-182
9. Stojanovic B., Bukvic M., Epler I. Application of aluminum and aluminum alloys in engineering // Applied engineering letters: Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 3, No. 2. P. 52–62. DOI: 10.18485/aeletters.2018.3.2.2
10. Sulaj Z., Driшти A., Çeko I. et al. Fatal aluminum phosphide poisonings in Tirana (Albania), 2009–2013 // Daru. 2015. Vol. 23, No. 1. P. 8. DOI: 10.1186/s40199-015-0090-0
11. Etemadi-Aleagha A., Akhgari M., Iravani F.S. Aluminum phosphide poisoning-related deaths in Tehran, Iran, 2006 to 2013 // Medicine (Baltimore). 2015. Vol. 94, No. 38. P. e1637. DOI: 10.1097/MD.0000000000001637
12. Shafahi A., Mostafazadeh B., Dadpour B. Inhalational toxicity of aluminum phosphide as an ongoing concern; a report of two cases // Arch. Acad. Emerg. Med. 2019. Vol. 7, No. 1. P. e69.
13. Alnasser S., Hussain S.M., Kirdi T.S., Ahmed A. Aluminum phosphide poisoning in Saudi Arabia over a nine-year pe-

- riod // *Ann. Saudi. Med.* 2018. Vol. 38, No. 4. P. 277–283. DOI: 10.5144/0256-4947.2018.277
14. Navabi S.M., Navabi J., Aghaei A. et al. Mortality from aluminum phosphide poisoning in Kermanshah Province, Iran: characteristics and predictive factors // *Epidemiol. Health.* 2018. Vol. 40. P. e2018022. DOI: 10.4178/epih.e2018022
 15. Sharma T., Sharma A., Kapoor D. Profile of aluminum phosphide poisoning in a tertiary care institute in the sub-Himalayan region // *J. Family Med. Prim. Care.* 2018. Vol. 7, No. 3. P. 581–583. DOI: 10.4103/jfmpc.jfmpc_231_17
 16. Sharma A., Sharma A., Acharya A. et al. Extracorporeal membrane oxygenation in aluminum phosphide poisoning in Nepal: a case report // *J. Med. Case Rep.* 2018. Vol. 12, No. 1. P. 311. DOI: 10.1186/s13256-018-1864-z
 17. He P., Zou Y., Hu Z. Advances in aluminum hydroxide based adjuvant research and its mechanism // *Hum. Vaccin. Immunother.* 2015. Vol. 11, No. 2. P. 477–488. DOI: 10.1080/21645515.2014.1004026
 18. Becker L.C., Boyer I., Bergfeld W.F. et al. Safety assessment of alumina and aluminum hydroxide as used in cosmetics // *Int. J. Toxicol.* 2016. Vol. 35, No. 3 suppl. P. 16S–33S. DOI: 10.1177/1091581816677948
 19. Klotz K., Weistenhüfer W., Neff F. et al. The health effects of aluminum exposure // *Dtsch. Arztebl. Int.* 2017. Vol. 114, No. 39. P. 653–659. DOI: 10.3238/arztebl.2017.0653
 20. Krewski D., Yokel R.A., Nieboer E. et al. Human health risk assessment for aluminium, aluminium oxide, and aluminium hydroxide // *J. Toxicol. Environ. Health B. Crit. Rev.* 2007. Vol. 10, No. Suppl 1. P. 1–269. DOI: 10.1080/10937400701597766
 21. Nie J. Exposure to aluminum in daily life and Alzheimer's disease // *Adv. Exp. Med. Biol.* 2018. Vol. 1091. P. 99–111. DOI: 10.1007/978-981-13-1370-7_6
 22. Багрянцева О.В., Шатров Г.Н., Хотимченко С.А. и др. Алюминий: оценка риска для здоровья потребителей при поступлении с пищевыми продуктами // *Анализ риска здоровью.* 2016. № 1(13). С. 59–68.
 23. Redgrove J., Rodriguez I., Mahadevan-Bava S., Exley C. Prescription infant formulas are contaminated with aluminium // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019. Vol. 16, No. 5. P. 899. DOI: 10.3390/ijerph16050899
 24. Toxicological Profile for Aluminum [Электронный ресурс] // ATSDR. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2008. Режим доступа: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp22-c3.pdf>
 25. Exley C., Mold M.J. Aluminium in human brain tissue: how much is too much? // *J. Biol. Inorg. Chem.* 2019. Vol. 24, No. 8. P. 1279–1282. DOI: 10.1007/s00775-019-01710-0
 26. Shaw C.A. Aluminum as a CNS and immune system toxin across the life span // *Adv. Exp. Med. Biol.* 2018. Vol. 1091. P. 53–83. DOI: 10.1007/978-981-13-1370-7_4
 27. Banks W.A., Kastin A.J. Aluminum-induced neurotoxicity: alterations in membrane function at the blood-brain barrier // *Neurosci. Biobehav. Rev.* 1989. Vol. 13, No. 1. P. 47–53. DOI: 10.1016/s0149-7634(89)80051-x
 28. Mold M., Chmielecka A., Rodriguez M.R.R. et al. Aluminium in brain tissue in multiple sclerosis // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2018. Vol. 15, No. 8. P. 1777. DOI: 10.3390/ijerph15081777
 29. Mold M., Cottle J., Exley C. Aluminium in brain tissue in epilepsy: A case report from Camelford // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019. Vol. 16, No. 12. P. 2129. DOI: 10.3390/ijerph16122129
 30. Mold M., Umar D., King A., Exley C. Aluminium in brain tissue in autism // *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2018. Vol. 46. P. 76–82. DOI: 10.1016/j.jtemb.2017.11.012
 31. Mold M., Cottle J., King A., Exley C. Intracellular aluminium in inflammatory and glial cells in cerebral amyloid angiopathy: A case report // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019. Vol. 16, No. 8. P. 1459. DOI: 10.3390/ijerph16081459
 32. Meng H., Wang S., Guo J. et al. Cognitive impairment of workers in a large-scale aluminium factory in China: a cross-sectional study // *BMJ Open.* 2019. Vol. 9, No. 6. P. e027154. DOI: 10.1136/bmjopen-2018-027154
 33. Klein G.L. Aluminum toxicity to bone: A multisystem effect? // *Osteoporos. Sarcopenia.* 2019. Vol. 5, No. 1. P. 2–5. DOI: 10.1016/j.afos.2019.01.001
 34. Omran G.A. Hematological and immunological impairment following *in-utero* and postnatal exposure to aluminum sulfate in female offspring of albino rats // *Immunopharmacol. Immunotoxicol.* 2019. Vol. 41, No. 1. P. 40–47. DOI: 10.1080/08923973.2018.1533967
 35. Kahbasi S., Samadbin M., Attar F. et al. The effect of aluminium oxide on red blood cell integrity and hemoglobin structure at nanoscale // *Int. J. Biol. Macromol.* 2019. Vol. 138. P. 800–809. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.07.154
 36. Jeong C.H., Kwon H.C., Kim D.H. et al. Effects of aluminum on the integrity of the intestinal epithelium: An *in vitro* and *in vivo* study // *Environ. Health. Perspect.* 2020. Vol. 128, No. 1. P. 17013. DOI: 10.1289/EHP5701
 37. Tsialtas I., Gorgogieta V.A., Michalopoulou M. et al. Neurotoxic effects of aluminum are associated with its interference with estrogen receptors signaling // *Neurotoxicology.* 2020. Vol. 77. P. 114–126. DOI: 10.1016/j.neuro.2020.01.004
 38. Aluminum chloride [Электронный ресурс] // NIOSH. Centers for Disease Control and Prevention. Режим доступа: <https://www.cdc.gov/niosh-rtecs/BD802C8.html>
 39. Lovegrove A., Edwards C.H., De Noni I. et al. Role of polysaccharides in food, digestion, and health // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2017. Vol. 57, No. 2. P. 237–253. DOI: 10.1080/10408398.2014.939263
 40. Khotimchenko M.Y., Khozhaenko E.V., Kolenchenko E.A., Khotimchenko Y.S. Equilibrium studies of sorption of strontium ions by different pectin compounds // *Journal of Environmental Science and Technology.* 2012. Vol. 5, No. 5. P. 319–331. DOI: 10.3923/jest.2012.319.331
 41. Khotimchenko M.Y., Khozhaenko E.V., Kolenchenko E.A., Khotimchenko Y.S. Influence of pectin substances on strontium removal in rats // *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences.* 2012. Vol. 4, No. 2. P. 269–273.
 42. Khotimchenko Y., Khozhaenko E., Kovalev V., Khotimchenko M. Cerium binding activity of pectins isolated from the seagrasses *Zostera marina* and *Phyllospadix iwataensis* // *Mar. Drugs.* 2012. Vol. 10, No. 4. P. 834–848. DOI: 10.3390/md10040834
 43. Khotimchenko M.Y., Podkorytova E.A., Kovalev V.V. et al. Removal of cesium from aqueous solutions by sodium

- and calcium alginates // *Journal of Environmental Science and Technology*. 2014. Vol. 7, No. 1. P. 30–43. DOI: 10.3923/jest.2014.30.43
44. Kakita K., Kishida M. Isolation of aluminum-tolerant and -absorbing yeast // *Biocontrol. Sci*. 2020. Vol. 25, No. 4. P. 231–234. DOI: 10.4265/bio.25.231
 45. Li H.Q., Ip S.P., Zheng G.Q. et al. Isorhynchophylline alleviates learning and memory impairments induced by aluminum chloride in mice // *Chin. Med*. 2018. Vol. 13. P. 29. DOI: 10.1186/s13020-018-0187-8
 46. Aboelwafa H.R., El-Kott A.F., Abd-Ella E.M., Yousef H.N. The possible neuroprotective effect of silymarin against aluminum chloride-prompted Alzheimer's-like disease in rats // *Brain. Sci*. 2020. Vol. 10, No. 9. P. 628. DOI: 10.3390/brainsci10090628
 47. Liu L., Liu Y., Zhao J. et al. Neuroprotective effects of D(-)-quinic acid on aluminum chloride-induced dementia in rats // *Evid. Based Complement. Alternat. Med*. 2020. Vol. 2020. P. 5602597. DOI: 10.1155/2020/5602597
 48. Hosseini-Sharifabad A., Rabbani M., Seyed-Yousefi Y., Sa-favi M. Magnesium increases the protective effect of citico-line on aluminum chloride-induced cognitive impairment // *Clin. Psychopharmacol. Neurosci*. 2020. Vol. 18, No. 2. P. 241–248. DOI: 10.9758/cpn.2020.18.2.241
 10. Sulaj Z, Drishti A, Çeko I, et al. Fatal aluminum phosphide poisonings in Tirana (Albania), 2009–2013. *Daru*. 2015;23(1):8. DOI: 10.1186/s40199-015-0090-0
 11. Etemadi-Aleagha A, Akhgari M, Irvani FS. Aluminum phosphide poisoning-related deaths in Tehran, Iran, 2006 to 2013. *Medicine (Baltimore)*. 2015;94(38):e1637. DOI: 10.1097/MD.0000000000001637
 12. Shafahi A, Mostafazadeh B, Dadpour B. Inhalational toxicity of aluminum phosphide as an ongoing concern; a report of two cases. *Arch Acad Emerg Med*. 2019;7(1):e69.
 13. Alnasser S, Hussain SM, Kirdi TS, Ahmed A. Aluminum phosphide poisoning in Saudi Arabia over a nine-year period. *Ann Saudi med*. 2018;38(4):277–283. DOI: 10.5144/0256-4947.2018.277
 14. Navabi SM, Navabi J, Aghaei A, et al. Mortality from aluminum phosphide poisoning in Kermanshah Province, Iran: characteristics and predictive factors. *Epidemiol Health*. 2018;40:e2018022. DOI: 10.4178/epih.e2018022
 15. Sharma T, Sharma A, Kapoor D. Profile of aluminum phosphide poisoning in a tertiary care institute in the sub-Himalayan region. *J Family Med Prim Care*. 2018;7(3):581–583. DOI: 10.4103/jfmpc.jfmpc_231_17
 16. Sharma A, Sharma A, Acharya A, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in aluminum phosphide poisoning in Nepal: a case report. *J Med Case Rep*. 2018;12(1):311. DOI: 10.1186/s13256-018-1864-z
 17. He P, Zou Y, Hu Z. Advances in aluminum hydroxide based adjuvant research and its mechanism. *Hum Vaccin Immunother*. 2015;11(2):477–488. DOI: 10.1080/21645515.2014.1004026
 18. Becker LC, Boyer I, Bergfeld WF, et al. Safety assessment of alumina and aluminum hydroxide as used in cosmetics. *Int J Toxicol*. 2016;35(3 Suppl):16S–33S. DOI: 10.1177/1091581816677948
 19. Klotz K, Weistenhüfer W, Neff F, et al. The health effects of aluminum exposure. *Dtsch Arztebl Int*. 2017;114(39):653–659. DOI: 10.3238/arztebl.2017.0653
 20. Krewski D, Yokel RA, Nieboer E, et al. Human health risk assessment for aluminium, aluminium oxide, and aluminium hydroxide. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*. 2007;10(Suppl 1):1–269. DOI: 10.1080/10937400701597766
 21. Nie J. Exposure to aluminum in daily life and Alzheimer's disease. *Adv Exp Med Biol*. 2018;1091:99–111. DOI: 10.1007/978-981-13-1370-7_6
 22. Bagryantseva OV, Shatrov GN, Khotimchenko SA, et al. Aluminium: food-related health risk assessment of the consumers. *Health Risk Analysis*. 2016;1(13):59–68. (In Russ.)
 23. Redgrove J, Rodriguez I, Mahadevan-Bava S, Exley C. Prescription infant formulas are contaminated with aluminium. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(5):899. DOI: 10.3390/ijerph16050899
 24. Toxicological Profile for Aluminum [Internet]. ATSDR. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2008. Available from: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp22-c3.pdf>
 25. Exley C, Mold MJ. Aluminium in human brain tissue: how much is too much? *J Biol Inorg Chem*. 2019;24(8):1279–1282. DOI: 10.1007/s00775-019-01710-0

26. Shaw CA. Aluminum as a CNS and immune system toxin across the life span. *Adv Exp Med Biol.* 2018;1091:53–83. DOI: 10.1007/978-981-13-1370-7_4
27. Banks WA, Kastin AJ. Aluminum-induced neurotoxicity: alterations in membrane function at the blood-brain barrier. *Neurosci Biobehav Rev.* 1989;13(1):47–53. DOI: 10.1016/s0149-7634(89)80051-x
28. Mold M, Chmielecka A, Rodriguez MRR, et al. Aluminium in brain tissue in multiple sclerosis. *Int J Environ Res Public Health.* 2018;15(8):1777. DOI: 10.3390/ijerph15081777
29. Mold M, Cottle J, Exley C. Aluminium in brain tissue in epilepsy: A case report from Camelford. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(12):2129. DOI: 10.3390/ijerph16122129
30. Mold M, Umar D, King A, Exley C. Aluminium in brain tissue in autism. *J Trace Elem Med Biol.* 2018;46:76–82. DOI: 10.1016/j.jtemb.2017.11.012
31. Mold M, Cottle J, King A, Exley C. Intracellular aluminium in inflammatory and glial cells in cerebral amyloid angiopathy: A case report. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(8):1459. DOI: 10.3390/ijerph16081459
32. Meng H, Wang S, Guo J, et al. Cognitive impairment of workers in a large-scale aluminium factory in China: a cross-sectional study. *BMJ Open.* 2019;9(6):e027154. DOI: 10.1136/bmjopen-2018-027154
33. Klein GL. Aluminum toxicity to bone: A multisystem effect? *Osteoporos Sarcopenia.* 2019;5(1):2–5. DOI: 10.1016/j.afos.2019.01.001
34. Omran GA. Hematological and immunological impairment following *in-utero* and postnatal exposure to aluminum sulfate in female offspring of albino rats. *Immunopharmacol Immunotoxicol.* 2019;41(1):40–47. DOI: 10.1080/08923973.2018.1533967
35. Kahbasi S, Samadbin M, Attar F, et al. The effect of aluminum oxide on red blood cell integrity and hemoglobin structure at nanoscale. *Int J Biol Macromol.* 2019;138:800–809. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.07.154
36. Jeong CH, Kwon HC, Kim DH, et al. Effects of aluminum on the integrity of the intestinal epithelium: An *in vitro* and *in vivo* study. *Environ Health Perspect.* 2020;128(1):17013. DOI: 10.1289/EHP5701
37. Tsialtas I, Gorgogietas VA, Michalopoulou M, et al. Neurotoxic effects of aluminum are associated with its interference with estrogen receptors signaling. *Neurotoxicology.* 2020;77:114–126. DOI: 10.1016/j.neuro.2020.01.004
38. Aluminum chloride [Internet]. NIOSH. Centers for Disease Control and Prevention. Available from: <https://www.cdc.gov/niosh-rtecs/BD802C8.html>
39. Lovegrove A, Edwards CH, De Noni I, et al. Role of polysaccharides in food, digestion, and health. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2017;57(2):237–253. DOI: 10.1080/10408398.2014.939263
40. Khotimchenko MY, Khozhaenko EV, Kolenchenko EA, Khotimchenko YS. Equilibrium studies of sorption of strontium ions by different pectin compounds. *Journal of Environmental Science and Technology.* 2012;5(5):319–331. DOI: 10.3923/jest.2012.319.331
41. Khotimchenko MY, Khozhaenko EV, Kolenchenko EA, Khotimchenko YS. Influence of pectin substances on strontium removal in rats. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences.* 2012;4(2):269–273.
42. Khotimchenko Y, Khozhaenko E, Kovalev V, Khotimchenko M. Cerium binding activity of pectins isolated from the seagrasses *Zostera marina* and *Phyllospadix iwatensis*. *Mar Drugs.* 2012;10(4):834–848. DOI: 10.3390/md10040834
43. Khotimchenko MY, Podkorytova EA, Kovalev VV, et al. Removal of cesium from aqueous solutions by sodium and calcium alginates. *Journal of Environmental Science and Technology.* 2014;7(1):30–43. DOI: 10.3923/jest.2014.30.43
44. Kakita K, Kishida M. Isolation of aluminum-tolerant and -absorbing yeast. *Biocontrol Sci.* 2020;25(4):231–234. DOI: 10.4265/bio.25.231
45. Li HQ, Ip SP, Zheng GQ, et al. Isorhynchophylline alleviates learning and memory impairments induced by aluminum chloride in mice. *Chin Med.* 2018;13:29. DOI: 10.1186/s13020-018-0187-8
46. Aboelwafa HR, El-Kott AF, Abd-Ella EM, Yousef HN. The possible neuroprotective effect of silymarin against aluminum chloride-prompted Alzheimer's-like disease in rats. *Brain Sci.* 2020;10(9):628. DOI: 10.3390/brainsci10090628
47. Liu L, Liu Y, Zhao J, et al. Neuroprotective effects of D-(–)-quinic acid on aluminum chloride-induced dementia in rats. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2020;2020:5602597. DOI: 10.1155/2020/5602597
48. Hosseini-Sharifabad A, Rabbani M, Seyed-Yousefi Y, Sa-favi M. Magnesium increases the protective effect of citicoline on aluminum chloride-induced cognitive impairment. *Clin Psychopharmacol Neurosci.* 2020;18(2):241–248. DOI: 10.9758/cpn.2020.18.2.241

Информация об авторах / Information about the authors

Виктория Евгеньевна Кутай — ассистент, аспирант 3-го года обучения Департамента фармации и фармакологии Школы биомедицины. ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1419-6588>;
eLibrary SPIN: 5979-4221; e-mail: kutai_ve@mail.ru.

Victoriia E. Kutai — assistant, 3rd year postgraduate student of the Department of Pharmacy and Pharmacology of the School of Biomedicine. Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1419-6588>;
eLibrary SPIN: 5979-4221; e-mail: kutai_ve@mail.ru.

Информация об авторах / Information about the authors

Василий Юрьевич Цыганков — канд. биол. наук, доцент, доцент Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология» Института Мирового океана. ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5095-7260>;
eLibrary SPIN: 5047-8410; Scopus Author ID: 56150726400;
ResearcherId: J-4069-2013; e-mail: tsig_90@mail.ru.

Vasily Yu. Tsygankov — PhD (Biology), Associate Professor, Associate Professor of the UNESCO International Chair “Marine Ecology” of the Institute of World Ocean. Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5095-7260>;
eLibrary SPIN: 5047-8410; Scopus Author ID: 56150726400;
ResearcherId: J-4069-2013; e-mail: tsig_90@mail.ru.

✉ Контактное лицо / Corresponding author

Виктория Евгеньевна Кутай / *Victoriia E. Kutai*
E-mail: kutai_ve@mail.ru