

Бауенова М.О.,
Акмуханова Н.Р.,
Садвакасова А.К., Заядан Б.К.,
Болатхан К., Кирбаева Д.К.,
Алим Н.А., Каныбек Г.К.

Казахский национальный
университет имени аль-Фараби,
Казахстан, г. Алматы

**Изучение действия тяжелых
металлов (Zn, Cd, Pb, Cu)
на рост и развитие
E. Canadensis в модельных
опытах**

Водные растения независимо от их принадлежности к различным экологическим группам в процессе своей жизнедеятельности могут накапливать элементы в довольно высоких концентрациях. Способность водных и околоводных растений накапливать химические элементы положена в основу не только мониторинга за состоянием среды их произрастания, но и в основу биоремедиации данных объектов окружающей среды [3]. Однако загрязненные водные экосистемы часто характеризуются сложным химическим составом, в связи с чем выбор водной растительности является актуальным. Целью исследований являлось изучение чувствительности и способности элодеи канадской (*Elodea canadensis*) к накоплению ряда тяжелых металлов (Cd^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+}) в лабораторных условиях. По результатам исследования было установлено, что кадмий и медь при высоких концентрациях губительно действуют на растения *E. canadensis* по сравнению с цинком и свинцом, максимальная концентрации металлов, при которых наблюдаются признаки жизнеспособности растений, составляют: для свинца – 10 ПДК, для меди – 5 ПДК, для цинка – 10 ПДК, для кадмия – 5 ПДК. По уровню накопления в растениях *E. canadensis* тяжелых металлов можно их расположить в следующий ряд: $Cu > Zn > Pb > Cd$. Установлена возможность использования растений *E. canadensis* для очистки от тяжелых металлов.

Ключевые слова: высшая водная растительность, тяжелые металлы, *Elodea canadensis*, ПДК.

Bauyenovna M.O.,
Akmukhanova N.R.,
Sadvakasova A.K., Zayadan B.K.,
Bolatkhan K., Kirbaeva D.K.,
Alim N.A., Kanybek G.K.
Al-Farabi Kazakh National University,
Kazakhstan, Almaty

**Study of the action of heavy
metals (Zn, Cd, Pb, Cu) on the
growth and development of *E.
canadensis* in model experiments**

Aquatic plants irrespective of whether they belong to various environmental groups in the process of their life can accumulate items in fairly high concentrations. Research of the aquatic plants is a necessary component of monitoring of water bodies, as components of nature show a different response to technoge noninterference. The ability of accumulation of chemical elements is important in assessing water quality. The purpose of research was to study the sensitivity and ability of Canadian elodea (*Elodea canadensis*) to the accumulation of some heavy metals (Cd^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+}) in the laboratory. Based on the results of the study, it was found that cadmium and copper at high concentrations perniciously operates plants *E. canadensis*, compared with zinc and lead, maximum concentrations of metals, where there are signs of vitality of plants: lead-10 MPC, copper-5 MPC, zinc-10 MPC, for cadmium-5 MPC. On the level of accumulation in plants of *E.canadensis* of heavy metals can be positioned in the following series: $Cu > Zn > Pb > Cd$. The possibility of using plants *E. canadensis* purification from heavy metals.

Key words: higher aquatic vegetation, heavy metals, *Elodea canadensis*, LPC.

Бауенова М.Ө.,
Акмуханова Н.Р.,
Садвакасова А.К., Заядан Б.К.,
Болатхан К., Кирбаева Д.К.,
Әлім Н.А., Қаныбек Г.Қ.
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық
университеті, Қазақстан, Алматы қ.

**Модельді тәжірибеде ауыр
металлдардың (Zn, Cd, Pb, Cu)
E. canadensis өсімдігінің өсуі
мен дамуына әсерін зерттеу**

Су өсімдіктері әртүрлі экологиялық топтарға қарағанымен өзінің тіршілік үдерісі нәтижесінде элементтерді жоғары концентрацияда жинауға қабілетті. Жоғары сатыдағы су өсімдіктерін зерттеу су объектілері мониторингінің қажетті құрамдасы, себебі табиғи ортаның компоненттері техногенді әсерлерге әртүрлі жауап қайтарады. Химиялық элементтерді жинау қабілеті су сапасын бағалауда үлкен мәнге ие. Зерттеу мақсаты, лабораториялық жағдайда элодея канаданың (*Elodea canadensis*) ауыр металлдарды (Cd^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+}) бойына жинақтау қабілеті мен сезімталдылығын зерттеу болып табылады. Зерттеу нәтижелері бойынша кадмий мен мыс жоғары концентрацияда *E. canadensis* өсімдігіне мырыш пен қорғасынмен салыстырғанда улылығы жоғары болды, өсімдіктің тіршілік қабілеті сақталатын металлдардың максимальды концентрациясы қорғасын үшін – 10 ШМК, мыс үшін – 5 ШМК, мырыш үшін – 10 ШМК, кадмий үшін – 5 ШМК құрайды. Ауыр металлдардың *E. Canadensis* өсімдігінде жиналу деңгейі бойынша келесі қатарға орналасты: $Cu > Zn > Pb > Cd$. *E. canadensis* өсімдігін ауыр металлдардан тазалау мүмкіндігі анықталды.

Түйін сөздер: жоғары сатыдағы су өсімдіктері, ауыр металлдар, *Elodea canadensis*, ШМК.

***Бауенова М.О., Акмуханова Н.Р., Садвакасова А.К.,
Заядан Б.К., Болатхан К., Кирбаева Д.К.,
Алим Н.А., Каныбек Г.К.**

Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы
*E-mail: bauyen.meruyert@gmail.com

**ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
(ZN, CD, PB, CU) НА
РОСТ И РАЗВИТИЕ *E.
CANADENSIS*
В МОДЕЛЬНЫХ
ОПЫТАХ**

Введение

В результате хозяйственной деятельности человека содержание тяжелых металлов и их солей в окружающей среде в настоящее время зачастую превышает предельно допустимые концентрации. И хоть многие тяжелые металлы являются необходимыми для живых организмов микроэлементами, в большом количестве они встают наряду с загрязняющими веществами и являются одними из самых токсичных. Сохранение биоразнообразия на Земле в таких условиях обуславливает необходимость получения информации о чувствительности или устойчивости тех или иных организмов к действию различных токсических веществ. При этом особое значение приобретает проблема очистки сточных вод и вод естественных и искусственных водоемов от большого количества загрязняющих веществ, в том числе и тяжелых металлов, что требует расширения списка растений, способных поглощать их из среды, тем самым способствуя восстановлению ее качества [1, 2].

Высшая водная растительность (ВВР, макрофиты) является важнейшим компонентом экосистем континентальных водоемов. Велико её значение в процессах формирования качества воды и биологического режима водохранилищ. Только растения в процессе фотосинтеза обеспечивают новообразование органического вещества. Особенно велика роль высшей водной растительности в водных объектах, испытывающих значительную антропогенную нагрузку, так как она играет главную роль в поддержании биотического баланса, участвуя как непосредственно, так и опосредованно в очистке водоема от загрязнений, поглощая их. Поэтому способность водных и околоводных растений накапливать химические элементы положена в основу не только мониторинга за состоянием среды их произрастания, но и в основу биоремедиации данных объектов окружающей среды [3]. Однако загрязненные водные экосистемы часто характеризуются сложным химическим составом, в связи с чем выбор водной растительности является актуальным. Эта задача требует подбора подходящих видов макрофитов, эффективно удаляющих загрязняющие вещества.

Селективная способность растений и наличие физиологических барьеров поглощения в корнях не всегда могут защитить растение от избыточного поступления тяжелых металлов. В таких случаях в работу включаются механизмы, способствующие аккумуляции тяжелых металлов в физиологически менее активных органах. В большинстве случаев наибольшее количество металлов локализуется в подземной и значительно меньше – в надземной частях растений. При этом у устойчивых видов, как правило, накапливается больше металлов в корнях, чем в надземной части. Таким образом, толерантность растений к металлам определяется не только наличием барьеров, ограничивающих их поступление, но и способностью регулировать их транспорт, в частности передвижение из корней в стебли и листья. В некоторых случаях защитная реакция растений проявляется в увеличении соотношения между корневой системой и надземной частью, но при оптимизации питания оно снижается. Уменьшению уровня аккумуляции, а следовательно, и токсического влияния металлов на растения в определенной мере способствует их десорбция из тканей.

Устойчивость растений к токсическому воздействию тяжелых металлов может также контролироваться перестройками генетического аппарата. Например, в случае длительного, многолетнего, загрязнения растительных популяций, страдающих от интоксикации, за короткое время могут образоваться толерантные генотипы. Металлоустойчивые популяции ряда видов растений известны для районов рудных месторождений. Описаны устойчивые к свинцу популяции, сформировавшиеся в городах или вдоль автомобильных дорог.

Толерантность вырабатывается именно к тому металлу, который присутствует в среде в избытке, то есть она специфична. Могут формироваться популяции, устойчивые одновременно к двум или нескольким металлам – множественная устойчивость. Для металлоустойчивых популяций характерны карликовые формы, пониженная биологическая продуктивность, ослабление прорастания семян и роста проростков при нормальном содержании металлов в среде. Свойство металлоустойчивости наследуется, передаваясь в семенном потомстве.

Все химические элементы, в том числе и тяжелые металлы, в определенном количестве необходимы растительному организму. Элементы, из которых состоят растения, можно условно разделить на две группы. В одну входят струк-

турные элементы, из которых построены молекулы основных органических соединений (белков, жиров, углеводов), в другую – функциональные. Последние активно участвуют в синтезе структурных соединений, но, как правило, не входят в них. Функциональные элементы обладают высокой биологической активностью, часто являются кофакторами различных ферментов, влияют на проницаемость биомембран, способствуют лучшему перераспределению метаболитов внутри растения. Микроэлементы (к которым относятся многие тяжелые металлы) в основном являются функциональными элементами, так как входят в состав ферментов, витаминов и других биологически активных веществ.

Тяжелые металлы играют важную роль в жизнедеятельности растений. Многие из них являются микроэлементами (медь, никель, кобальт, цинк и др.), участвующими в самых разнообразных физиологических процессах: от фотосинтеза до регуляции активности генов. Однако значительные концентрации микроэлементов способны вызвать патологические изменения в клетках: образование активных форм кислорода, окислительный стресс и т. д. Для ряда металлов (кадмий, ртуть, свинец, серебро) не выявлены жизненно необходимые функции, кроме деструктивных. В водной среде подвижность, биодоступность металлов выше, чем в почве.

Целью исследований являлось изучение чувствительности и способности элодеи канадской (*Eloдея canadensis*) к накоплению ряда тяжелых металлов (Cd^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+}) в лабораторных условиях.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является водное растение элодея канадская *Eloдея canadensis*. Для эксперимента был произведен отбор растений, сходных по морфологическим параметрам. Верхушечные мутовки элодеи по 5 экземпляров помещались в емкости объемом 500 мл с отстаиванной водопроводной воде с добавлением 5% среды Хогланда-Арнона I (1 л среды содержал 41 мг безводного $Ca(NO_3)_2$, 25 мг KNO_3 , 6.8 мг KH_2PO_4 , 12 мг $MgSO_4 \cdot 7H_2O$) при температуре 23-25°C и естественном освещении. В опытные сосуды добавляли ТМ $CuCl_2$, $ZnCl_2$, $PbCl_2$, $CdCl_2$ в концентрациях, составляющих 2, 5, 10, 20 ПДК. Контролем служил вариант без добавления металлов. Через 144 часов проводился анализ морфологических изменений расте-

ний [4]. Отобранные для анализа пробы растительного материала отмывали в течение 3 мин 0.01% раствором Na-ЭДТА, затем в течение 3-5 мин трижды промывали дистиллированной водой для удаления металлов, сорбированных на поверхности. Содержание тяжелых металлов в тканях элодеи определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии на iCAP 6300 Duo («ThermoElectron», США-Великобритания) после мокрого озоления 70% HNO₃ (о.с.ч.) [5].

Результаты и их обсуждение

Гидрофиты являются важными компонентами водных экосистем. Способность водных растений накапливать ТМ в значительных количествах, образуя нетоксичные комплексы [6], свидетельствует об их высокой устойчивости к повышенным концентрациям металлов в среде обитания и открывает широкие перспективы для их использования при мониторинге и фиторемедиации.

По результатам исследования в контрольных вариантах в течение 144 часов инкубирования *Elodea canadensis* количество биомассы увеличилось в среднем на 25,6%±1,5%. В таблице 1 приведены данные по изменению биомассы *Elodea canadensis* за время эксперимента. Экспозиция растений в среде, содержащей Cu²⁺ в концентрации 2 ПДК, приводила к снижению интенсивности роста. Так, если в отсутствии со-

лей ТМ в течение всего времени инкубирования *E. canadensis* наращивала биомассу в среднем на 25,6±1,5% (таблица1), то в присутствии Cu²⁺ происходила потеря биомассы на 2,5% при концентрации металла 5 ПДК на 5,5%.

Медь – биогенный металл, важный для метаболизма, роста и развития растений, является кофактором ряда ферментов, вовлекается в процессы фотосинтеза и дыхания. Медь необходима растениям в следовых количествах, при повышенных концентрациях отмечается токсическое действие. При концентрации 10 и 20 ПДК наблюдалась гибель растений полностью (потеря биомассы 97-98%) (рисунок 1).

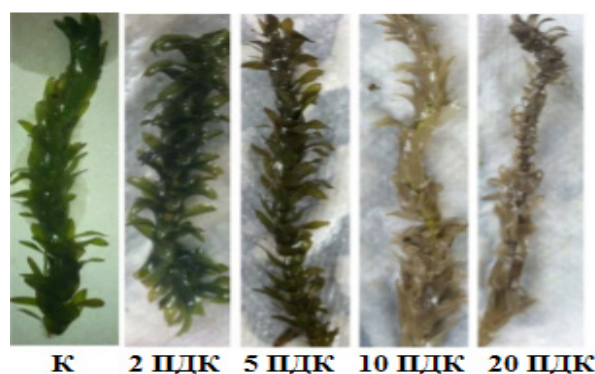


Рисунок 1 – Влияние меди на рост растений *E. canadensis* (через 144 часа)

Таблица 1 – Изменение биомассы *E. canadensis* в период инкубации на средах с различным содержанием тяжелых металлов

Металл	Концентрация металла (ПДК)	Вес в начале экспозиции, г	Вес в конце экспозиции, г	Эффект влияния, %
Контроль	-	3,56±0,01	4,47±0,01	+25,6
Cu ²⁺	2	3,56±0,01	3,47±0,03	-2,5
	5	3,45±0,01	3,26±0,02	-5,5
	10	3,51±0,02	0,08±0,01	-97
	20	3,53±0,01	0,05±0,04	-98
Cd ²⁺	2	3,62±0,01	3,54±0,01	-2,2
	5	3,53±0,01	3,36 ±0,03	-4,8
	10	3,64±0,02	0,15±0,02	-96
	20	3,58±0,03	0,11±0,01	-97
Zn ²⁺	2	3,54±0,02	3,86±0,03	+9
	5	3,48±0,03	3,58±0,02	+3
	10	3,59±0,02	2,73±0,04	-24
	20	3,57±0,01	1,15±0,05	-68

Продолжение таблицы 1

Металл	Концентрация металла (ПДК)	Вес в начале экспозиции, г	Вес в конце экспозиции, г	Эффект влияния, %
Pb ²⁺	2	3,55±0,03	3,79±0,03	+7
	5	3,49±0,06	3,59±0,01	+2,8
	10	3,61±0,02	2,81±0,02	-22
	20	3,57±0,01	1,46±0,02	-59

Другой важный загрязнитель водоёмов – кадмий. По химическим свойствам этот металл подобен цинку. Он может замещать последний в активных центрах металлсодержащих ферментов, приводя к резкому нарушению в функционировании ферментативных процессов. Известно, что при содержании кадмия ~ 0,2-1 мг/л замедляются фотосинтез и рост растений.

Ионы кадмия, так же как ионы меди, губительно действовали на *E. canadensis*. При концентрации Cd²⁺ 2 и 5 ПДК потеря биомассы растений составила 2,2-4,8%, кадмий в концентрации 10 и 20 ПДК полностью ингибировал рост растений, потеря биомассы составила 96-97%. При высоких концентрациях растения теряли тургор и часто были окрашены в бледно-желто-зеленый цвет, что указывало на гибель клеток этого органа (рисунок 2).

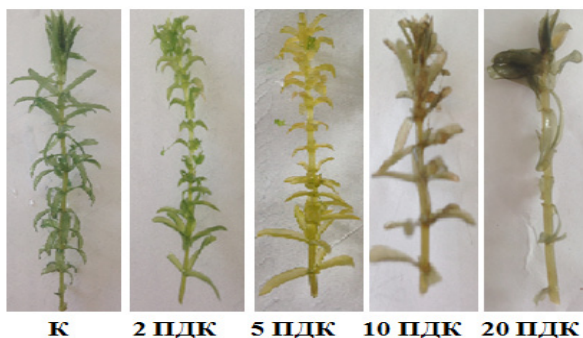


Рисунок 2 – Влияние кадмия на рост растений *E. Canadensis* (через 144 часа)

Следующим исследованным нами металлом был свинец. Как известно, половина от общего количества свинца поступает в окружающую среду в результате сжигания этилированного бензина. В водных системах свинец в основном связан адсорбционно со взвешенными частицами или находится в виде растворимых комплексов с гуминовыми кислотами. В незагрязненных по-

верхностных водах суши содержание свинца обычно не превышает 3 мкг/л. В реках промышленных регионов отмечается более высокое содержание свинца.

В отличие от кадмия и меди, ионы цинка и свинца вызывали замедление роста *E. canadensis*, но не исключали его полностью при высоких концентрациях. При концентрации 2 ПДК наблюдается прирост биомассы (Zn²⁺-9%, Pb²⁺-7%). При концентрации 20 ПДК потеря биомассы составила 59-68%. По сравнению с кадмием и медью в присутствии цинка и свинца явных отклонений морфологических признаков от контрольного варианта не наблюдалось (рисунки 3, 4). При концентрации свинца и цинка 10 ПДК наблюдалась бурая окраска растений. По литературным данным, ионы свинца и цинка в небольших концентрациях способны оказывать положительное воздействие на содержание хлорофилла и на интенсивность фотосинтеза [7].

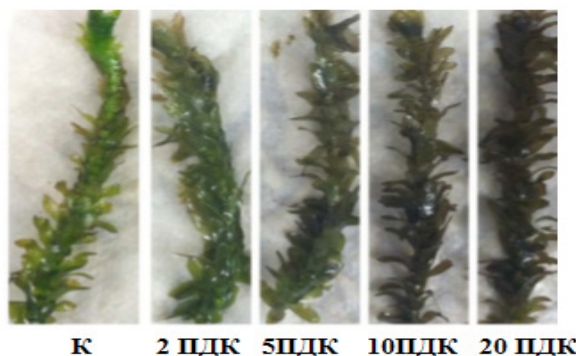


Рисунок 3 – Влияние цинка на рост растений *E. Canadensis* (через 144 часа)

Результаты наших исследований позволяют предположить, что все металлы в высоких концентрациях подавляют рост и влияют на жизнеспособность растений, нарушая физиолого-биохимические процессы в клетках. При

этом высокие концентрации кадмия и меди губительно действуют на растение *E. canadensis*, по сравнению с цинком и свинцом. Установлено, что максимальная концентрации металлов, при которых наблюдаются признаки жизнеспособности растений, составляют: для свинца – 10 ПДК, для меди – 5 ПДК, для цинка – 10 ПДК, для кадмия – 5 ПДК.

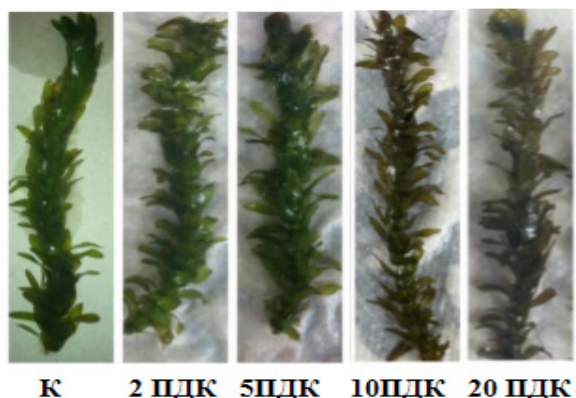


Рисунок 4 – Влияние свинца на рост растений *E. Canadensis* (через 144 часа)

Результаты наших исследований позволяют предположить, что все металлы в высоких концентрациях подавляют рост и влияют на жизнеспособность растений, нарушая физиолого-биохимические процессы в клетках. При этом высокие концентрации кадмия и меди губительно действуют на растение *E. canadensis*, по сравнению с цинком и свинцом. Установлено, что максимальная концентрации металлов, при которых наблюдаются признаки жизнеспособности растений, составляют: для свинца – 10 ПДК, для меди – 5 ПДК, для цинка – 10 ПДК, для кадмия – 5 ПДК.

собирают растения, составляют: для свинца – 10 ПДК, для меди – 5 ПДК, для цинка – 10 ПДК, для кадмия – 5 ПДК.

Высшая водная растительность извлекает химические элементы как из донных отложений, так и водной толще. Причем макрофиты способны извлекать и накапливать металлы, не только растворенные в воде, но и присутствующие во взвешенно-коллоидном материале водной массы и на поверхности листьев. В ряде работ было отмечено, что погруженные растения накапливают большие количества микроэлементов, нежели полупогруженные [8].

Исследование накопления тяжелых металлов растениями *E. canadensis* при концентрации металлов 5 ПДК показало, что почти все металлы проявляли тенденцию накапливаться в растительных тканях (таблица 2). Полученные данные свидетельствуют о том, что за исследованный срок концентрация изучаемых элементов в модели с растениями значительно снизилась, тогда как в контроле осталась на том же уровне, что и в начале эксперимента. По уровню содержания в растениях *E. Canadensis* тяжелые металлы можно расположить их в следующий ряд: $Cu > Zn > Pb > Cd$. Отсюда следует, что наиболее интенсивно вовлекаются в миграционные циклы Zn, Cu , а в меньшей степени – Pb, Cd . Такая избирательная способность Zn, Cu накапливаться в растительной ткани *E. canadensis*, вероятно, связана с их участием в процессах метаболизма, ведь, как известно, эти элементы входят в состав пигментов, витаминов, ферментов. Однако повышение концентрации меди оказывает губительное действие на вегетативное размножение растений [9].

Таблица 2 – Накопление тяжелых металлов растениями *E. canadensis*

Тяжелые металлы	Концентрация до начала эксперимента, мг/л	Концентрация после эксперимента, мг/л	Концентрация в растениях, мг/л	Процент накопления, %
Zn	0,05	0,012±0,05	0,038±0,0024	76
Cu	0,005	0,0008±0,03	0,0042±0,015	84
Pb	0,03	0,017±0,02	0,012±0,01	40
Cd	0,025	0,018±0,02	0,007±0,02	28

Исследования ВВР является необходимой составляющей организации процессов биоремедиации водных объектов, поскольку водные

макрофиты независимо от их принадлежности к различным экологическим группам в процессе своей жизнедеятельности могут накапливать

элементы в довольно высоких концентрациях. Способность накопления химических элементов имеет большое значение в проведении биоремедиации загрязненной воды. По результатам исследований было установлено, что кадмий и медь при высоких концентрациях губительно действуют на растение *E. canadensis*, по сравнению с цинком и свинцом, максимальная концентрации металлов, при которых наблюдаются признаки жизнеспособности растений, составляют: для свинца – 10 ПДК, для меди – 5 ПДК, для цинка – 10 ПДК, для кадмия – 5 ПДК. Установлена возможность использования растений *E. canadensis*

для очистки от тяжелых металлов. По уровню накопления в растениях *E. canadensis* тяжелые металлы можно расположить в следующий ряд: Cu>Zn>Pb>Cd. При этом накопление меди и цинка фитомассой от внесенной концентрации составило 84 и 76% соответственно.

Таким образом, при культивировании *E. canadensis* в моделях, содержащих различные концентрации тяжелых металлов, достигается высокий эффект их извлечения из растворов, что позволяет нам рекомендовать его в процессах очистки вод различного назначения от ионов тяжелых металлов [10].

Литература

- 1 Ипатова В.И., Дмитриева А.Г. Оценка токсичности тяжелых металлов с использованием высших водных растений // Экологические системы и приборы. – 2009. – №1. – С. 59–62.
- 2 Розенцвиг О.А. Изучение особенностей аккумуляции ионов тяжелых металлов водными растениями и роли липидов в адаптации к тяжелым металлам // Изв. Самар. НЦ РАН. – 2006. – Т.8, № 3. – С. 56-62.
- 3 Остроумов С.А., Шестакова Т.В., Котелевцев С.В., Соломонова Е.А., Головня Е.Г., Поклонов В.А. Присутствие макрофитов в водной системе ускоряет снижение концентраций меди, свинца и других тяжелых металлов в воде. // Водное хозяйство России. – 2009. – №. 2. – С. 58 – 67.
- 4 Власов Б.П., Гигевич Г.С., Использование высших водных растений для оценки контроля за состоянием водной среды: Метод. рекомендации. – Минск: БГУ, 2002 -84 с.
- 5 Остроумов С.А., Соломонова Е.А. Методы определения допустимых нагрузок загрязняющих веществ на высшие водные растения и перспективы его применения // Экология промышленного производства. – 2012. – №4. – С. 54-60.
- 6 Dogan M., Demirsaygideger S., Colak U. Effect of lead toxicity on aquatic macrophyte *Elodea Canadensis* Michx. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. – 2009. – v.83: – P. 249-254.
- 7 О. М. Минаева, Е. Е. Акимова, К. М. Минаев и др. Поглощение ряда тяжелых металлов из водных растворов растениями водного гиацинта (*Eichhorniacrassipes (mart.) solms*) /. // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. – 2009. – № 4 (8). – С. 106–112.
- 8 Вишнякова М. Ю., Мельник И. В. Роль макрофитов в формировании гидрохимического режима водотоков водно-болотных угодий нижней Волги // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. – 2009. – № 2. – С. 7–10.
- 9 Демидчик В. В., Соколик А. И., Юрин В. М. Токсичность избытка меди и толерантность к нему растений // Успехи соврем. биологии. 2001. – 121 с.
- 10 Ковалевский А.Л. О поглощении химических элементов растениями из твердой, жидкой и газообразной фаз внешней среды // Физиология и продуктивность растений в Забайкалье. – Улан-Уде: Бурят. кн. изд-во. – 1977. – С. 163-1744.

Reference

- 1 Ipatova VI, Dmitrieva AG (2009) Evaluation of the toxicity of heavy metals with higher aquatic plants // Ecological Systems and Devices [Ocenka toksichnosti tyzhellyh metallov s ispolzovaniem vysshyh vodnyh rastenii // Ikologicheskie sistemy I pribory]. 1.: 59-62. (In Russian)
- 2 Rozencev OA (2006) The study of the accumulation of heavy metals on aquatic plants and the role of lipids in the adaptation to heavy metals // Samar [Izuchenie osobennostei akkumulyacii ionov tyzhellyh metallov vodnymy rasteniyami I roli lipidov v adaptacii k tyzhellym metallam // Izv. Samar.] NCRAN.8:3 (In Russian)
- 3 Ostroumov SA., Shestakova TV, Kotolevcev SV, Solomonova EA, Golovnya EG, Poklonov VA (2009) The presence of macrophytes in an aqueous system accelerates the decline in copper concentrations of lead and other heavy metals in the water. // Water Management Russia. [Prisutstvie makrofitov v vodnoi sisteme uskoryet snizhenie koncentracii medi, svinca, I drugih tyzhellyh metallov v vode. // Vodnoe hozyastvo Rossii.]. 2:58 – 67. (In Russian)
- 4 Vlasov BP., Gigevich GS (2002) The use of higher water plants to evaluate and monitor the state of the aquatic environment: Metod.rekomendatsii [Ispolzovanie vysshyh vodnyh rastenii dlya ocenki kontrolya za sostoyaniem vodnoi sredy: Metod rekomendacii]. Minsk, BGU (In Russian)
- 5 Ostroumov SA, Solomonova EA (2012) Methods for determination of allowable load of pollutants on higher aquatic plants and its application prospects // Ecology of industrial production [Metody opredelenie dopustimyh nagruzok zagryaznyaushih veshstv na vysshie vodnye rasteniya I perspektivy ego primeneniya // Ikologia promyshlennogo proizvodstva]. 4: 54-60. (In Russian)

6 Dogan M, Demirors Saygideger S., Colak U. (2009) Effect of lead toxicity on aquatic macrophyte *Elodea Canadensis* Michx. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 83:249-254.

7 Minaeva OM, Akimov EE, Minaeva KM (2009) The absorption of a number of heavy metals from aqueous solutions of water hyacinth plants (*Eichhorniacrassipes* (mart.) Solms) [Poglashenie ryada tyazhelyh metallov iz vodnyh rastvorov rasteniami vodnogo giacinta (*Eichhorniacrassipes* (mart.) solms)] // *Vestn. Tom. Gos. Un-ta. Biologiya*. 4 (8): 106–112. (In Russian)

8 Vishnykova MU, Melnik IV (2009) The role of macrophytes in the formation of hydrochemical regime of watercourses wetlands of the Lower Volga // *Vestn. Astrachan. state. tehn. Univ. Ser. : Fisheries* [Rol mikrofitov v formirovanii gidrohemicheskogo rezhima vodotokov vodno-bolotnyh ugodii Nizhnei Volgi // *Vestn. Astrahan. Gos.tehn.un-ta. Ser.:Rybnoe hozyastvo.*] 2:7–10. (In Russian)

9 Demidchik VV, Sokolik AI, Urin VM (2001) The toxicity of excess copper and tolerance to it plants // *Success lies. biology*. [Toksichnost izbytki medi I tolerantnost k nemu rastenii // *Uspеhi sovrem. biologii*]. 121 (In Russian)

10 Kovalevskii AL (2007) bsorption of the chemical elements by plants of solid, liquid and gaseous phases of the environment // *Physiology and plant productivity in the Trans-Baikal region.* – Ulan-Ude: Buryat. Vol. Publishing House [O poglashenii himicheskikh elementov rasteniyami iz tverdoi, zhidkoi I gazobraznoi faz vneshnei sredy // *Fiziologia I produktivnost rastenii v Zabaikale* – Ulan Ude: Buryat.kn. izd-vo], 163-1744. (In Russian)