

УДК 574.32+574.625

DOI 10.25587/2222-5404-2024-21-1-24-32

## Элодея канадская: интродукция, фиторемедиация и контроль распространения

В. А. Поклонов<sup>1</sup> ✉, С. А. Остроумов<sup>2</sup>, Е. В. Аникина<sup>3</sup>, А. П. Садчиков<sup>2</sup>, В. В. Глебов<sup>4</sup>, В. В. Ерофеева<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Международный независимый эколого-политологический университет, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>3</sup>Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, Москва, Россия

<sup>4</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

<sup>5</sup>Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия

✉ warvir@rambler.ru

**Аннотация.** Неконтролируемое распространение инвазионных чужеродных видов может приводить к значительным экологическим, социальным и экономическим последствиям. В настоящей статье приводятся многочисленные примеры того, как *Элодея канадская* (*Eloдея canadensis* Michx.) взаимодействует с различными веществами, загрязняющими окружающую среду. Из проведенных ранее опытов следует, что элодея обладает достаточно высоким фиторемедиационным потенциалом. В связи с этим возникает интерес выращивания это растение для целей фиторемедиации. В статье описываются плюсы и минусы элодеи, с которыми сталкивается общество при взаимодействии с этим растением. Цель статьи – изучить инвазионную способность элодеи (*Eloдея canadensis*) при интродукции в пресноводный водоем, населенный другими видами водных растений. В данной работе описывается трехлетний опыт, который убедительно доказал, что элодея быстро адаптируется, размножается в новых для себя водоемах (средняя полоса России) и активно конкурирует за акваторию с другими видами растений. По этой причине элодею удобно выращивать в прудах-инкубаторах и потом использовать для целей фиторемедиации. Новые данные о *E. canadensis*, полученные в этом исследовании, вносят вклад в понимание поведения элодеи в интродуцированных условиях. Полученная информация будет полезной для создания научных основ фитотехнологий. Можно отметить, что изложенные результаты проведенных опытов подтверждают и расширяют свидетельства о том, что *E. canadensis* может являться сорняком для водоемов и затруднять судоходство, но может быть полезной для ремедиации водных сред от антропогенного загрязнения. Статья представляет интерес для исследователей, работающих в области экологии, гидрохимии, гидробиологии, различных наук об окружающей среде и биосфере.

**Ключевые слова:** фиторемедиация, фитотехнологии, химическое загрязнение, *Элодея канадская*, органические и неорганические ксенобиотики, интродукция, выращивание растений, фитоочистительные пруды, водно-болотные угодья, инвазия, водные ресурсы, тяжелые металлы и металлоиды.

**Для цитирования:** Поклонов В. А., Остроумов С. А., Аникина Е. В., Садчиков А. П., Глебов В. В., Ерофеева В. В. *Элодея канадская: интродукция, фиторемедиация и контроль распространения*. Вестник СВФУ. 2024, Т. 21, №1. С. 24–32. DOI: 10.25587/2222-5404-2024-21-1-24-32

## ***Elodea canadensis*: introduction, phytoremediation and spread control**

V. A. Poklonov<sup>1</sup> ✉, S. A. Ostroumov<sup>2</sup>, E. V. Anikina<sup>3</sup>, A. P. Sadchikov<sup>2</sup>, V. V. Glebov<sup>4</sup>, V. V. Erofeeva<sup>5</sup>

<sup>1</sup>International Independent University of Environmental and Political Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup>M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

<sup>4</sup>Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

<sup>5</sup>Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia

✉ warvir@rambler.ru

**Abstract.** The uncontrolled spread of invasive non-native species can have significant ecological, social and economic consequences. This paper provides numerous examples of how *Elodea canadensis* Michx. interacts with various environmental contaminants. Previous experiments have shown that *Elodea* has a rather high phytoremediation potential. Therefore, there is interest in cultivating this plant for phytoremediation purposes. This article describes the pros and cons of *Elodea* that society faces when dealing with this plant. The aim of the article is to investigate the invasive capacity of *elodea* (*Elodea canadensis*) when introduced into a freshwater body inhabited by other aquatic plant species. Three years of experience are described in this article and it has been shown that *E. canadensis* quickly adapts and multiplies in new water ecosystems (central Russia) and displaces other aquatic plants. For this reason, it is convenient to grow *E. canadensis* in incubator ponds and then use it for phytoremediation. The reported results add to the evidence that *E. canadensis* is a weed of waterways and a nuisance to navigation, but is useful in remediating aquatic environments from anthropogenic pollution. The article is of interest to researchers working in ecology, hydrochemistry, hydrobiology, various environmental and biosphere sciences.

**Keywords:** phytoremediation, phytotechnologies, chemical pollution, *Elodea canadensis*, organic and inorganic xenobiotics, introduction, growing plants, constructed wetlands, wetland macrophytes, invasion, water resources, heavy metals and metalloids.

**For citation:** Poklonov V. A., Ostroumov S. A., Anikina E. V., Sadchikov A. P., Glebov V. V., Erofeeva V. V. *Elodea canadensis*: introduction, phytoremediation and spread control. Vestnik of NEFU. 2024, Vol. 21, No. 1. Pp. 24–32. DOI: 10.25587/2222-5404-2024-21-1-24-32

### **Введение**

Высшие водные растения могут использоваться для очистки водоемов и сточных вод от различных видов органического и неорганического загрязнения. Одно из таких растений – Элодея канадская (*Elodea canadensis* Michx.), семейство водокрасовые (*Hydrocharitaceae* Juss.). Это растение вызывает огромный научный интерес в связи с ее высоким фиторемедиационным потенциалом. Высшее водное растение *Elodea canadensis* – один из самых распространенных видов макрофитов в северном полушарии Земли. Ареал элодеи доходит до субарктики на севере и тропиков на юге [1].

Как правило, элодея – чужеродный вид, активно распространяющийся в полустественных и естественных водоемах. Основными факторами инвазии вида являются рыбоводство, судоходство, затопление пойм, распространение птицами и рыбная ловля (с использованием необработанных рыболовных сетей) [2].

Элодея (*E. canadensis*) использовалась в качестве тест-организма в биологическом тестировании для изучения взаимодействия с тяжелыми металлами [1, 3, 4, 5]. Также *E. canadensis* исследовалась при взаимосвязи с легкими металлами [6–7] и органическими ксенобиотиками [8–10].

Например, элодея использовалась в опытах при удалении алюминия из воды. В среднем по двум микрокосмам после четырех недель инкубации элодея удалила 88% ионов алюминия из воды микрокосмов по сравнению с контролем. В начале опыта концентрация алюминия в микрокосмах превышала ПДК в 13 раз. К концу опыта концентрации ионов алюминия соответствовали ПДК. Элодея удалила алюминий из воды, сохранив жизнеспособность (3–7% мертвых побегов в конце опыта) [6].

В работе [4] *E. canadensis* продержалась 24 часа в экстремально высоких концентрациях медно-никелевого (концентрация меди 70 мг/л, никеля – 120 мг/л) загрязнения. После трех суток инкубации было показано удаление около 50% тяжелых (цветных) металлов из воды.

В одном из экспериментов элодея подверглась воздействию восьми тяжелых металлов в очень высоких концентрациях (меди (Cu) 61,9 мг/л; железа ( $Fe^{+3}$ ) 50 мг/л; никеля (Ni) 37 мг/л; железа ( $Fe^{+2}$ ) 30 мг/л; цинка (Zn) 25,8 мг/л; хрома ( $Cr^{+6}$ ) 22 мг/л; свинца (Pb) 2,7 мг/л; кадмия (Cd) 1,5 мг/л). На вторые сутки после инкубации зафиксированы явные признаки неблагополучия (тургор ослаблен, неприятный запах, вода мутная, гибель растений) [1].

Элодея удаляла из воды кобальт, который находился в концентрации 15 мг/л. Через 14 дней кобальта было менее 1 мг/л. Растение продемонстрировало высокий уровень устойчивости к воздействию кобальта [11].

В работе [12] подтверждено эффективное удаление тяжелых металлов (Pb, Cd, Zn, Cu) растением *E. canadensis*.

Также элодея поглощала из воды мышьяк. За 1 час растение смогло аккумулировать в своем организме 63,16% мышьяка от общей его концентрации в воде 250 мкг/л [12].

В другом эксперименте побеги элодеи, собранные в загрязненном водоеме, лучше поглощали медь и цинк, чем побеги из относительно благополучного водоема. По-видимому, загрязненная среда сыграла адаптирующую роль в поглощении металлов. Во всех опытах токсичность смеси Zn, Cu была менее выраженной, чем Cu, добавляемый отдельно [13].

Антибиотик энрофлоксацин и гербицид глифосат оказывают синергетическое действие, нарушая физиологические процессы *E. canadensis*. Элодея может удалять энрофлоксацин из воды, но не может поглощать глифосат из-за высокой чувствительности к этому гербициду [14].

Очистные системы сточных вод, основанные на использовании элодеи, пригодны для применения в умеренном климате, где могут круглый год удалять биогенные элементы из сточных вод [15] и различные металлы [1, 16–19]. Восстановление водных ресурсов от загрязнения на основе растений – это простой, но очень эффективный и экологически чистый метод, который может дополнить существующую очистку сточных вод [20].

Необходимо отметить, что элодея входит в ТОП-100 самых опасных инвазионных видов России. *Elodea canadensis* распространилась далеко за пределы Северной Америки (рис.) и встречается в Европе, Северной и Южной Африке, Азии, Мексике, Центральной и Южной Америке, на Гавайских островах, в юго-восточной Австралии, Новой Зеландии. В Европе в настоящее время стала обычным растением искусственных и природных пресных водоемов: отмечена в 38 странах, в 26 натурализовалась [21].

Элодея канадская была впервые найдена в Европе в Великобритании: по одной из версий – в 1836 г., когда из ботанических садов и аквариумов любителей она попала в местные водоемы; по другим данным, первые находки были сделаны в 1817 или 1828 гг. Впервые элодея канадская была обнаружена в бассейне р. Нева (Российская империя) в 1880 и 1881 гг. В 1885 г. она была найдена в Оке вблизи г. Коломны [21].

Элодея канадская заселяет реки, пруды, озера, старицы, ручьи, каналы, водохранилища. Предпочитает песчаные или илистые грунты, слабощелочные калийные и гидрокарбонатно-кальциевые воды с pH 7.7–8.8 [21].



**Рис.** Распространение и инвазионный статус элодеи канадской (*Elodea canadensis*) на территории России. Инвазионный статус вида: 1 – отдельные находки, вид не натурализовался в регионе; 2 – натурализовавшийся; 3 – инвазионный, расселяется по полуестественным и естественным местообитаниям [21]

**Fig.** Distribution and invasive status of Canadian elodea (*Elodea canadensis*) in Russia. Invasive status of the species: 1 – isolated findings, the species has not naturalised in the region; 2 – naturalised; 3 – invasive, spreads across semi-natural and natural habitats [21]

В странах с засушливым климатом для контроля эффективно использовать осушение водоемов (например, оросительных каналов, зараженных элодеей), их прочистку и фильтрацию воды. В ряде стран для борьбы с элодеей применяют гербициды, в частности, растворы акролеина и солей эндотала [21].

Гербицид флуридон использовался для удаления элодеи из реки Коппер (юг Аляски) [22]. Известно, что *E. canadensis* используется для производства силоса [23].

Внедрение на территорию Чеченской республики инвазионных видов растений во многом обусловлено сельскохозяйственной деятельностью и декоративным садоводством. Расселение (*E. canadensis*) происходит естественным способом: воздушными и / или водными потоками [24].

В 2018 г. в Новосибирском водохранилище (Шарапский залив) были замечены монодоминантные заросли *E. canadensis* площадью около 34 000 м<sup>2</sup>. Сделан вывод о том, что к ведущим факторам, ограничивающим распространение элодеи в Новосибирской области, относятся особенности состава и степень минерализации природных вод, а также возможная конкуренция с местным видом *Hydrilla verticillata* (L. fil.) Royle [25]. Элодея в Якутии произрастает на пределе распространения. Для *E. canadensis* – это самые северные точки в Азии и восточные в Евразии (примерно 650 км к северо-востоку (Ленский р-н) и 1370 км к восток-северо-востоку (Хангаласский р-н) от ближайшей иркутской точки) [26].

Цель данного сообщения – изучить инвазионную способность элодеи (*Elodea canadensis*) при интродукции в пресноводный водоем, населенный другими видами водных растений.

#### Методы исследования

Эксперимент по интродукции *E. canadensis* длился три года и проходил на границе Московской и Владимирской областей на благополучной в экологическом отношении акватории (средняя полоса России, рядом с Крутовским заказником). Жизнеспособный

Таблица 1

Размер водоема для интродукции *E. Canadensis*

Table 1

Size of reservoir for introduction *E. canadensis*

Размер водоема			
Длина, м	Ширина, м	Глубина, м	Количество воды, л
65	25	1,9	3 000 000 ± 200 000

побег *E. canadensis* массой 3 грамма был интродуцирован из одного пресноводного водоема в другой (табл. 1). Опыт проходил в водоеме с комбинированным типом водного питания. Водоемы находятся в 2 км друг от друга.

В водоеме, куда перенесли элодею (*E. canadensis*), находились другие макрофиты, такие как хара обыкновенная (*Chara vulgaris* L.), роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum* L.), роголистник полупогруженный (*Ceratophyllum submersum* L.), рдест плавающий (*Potamogeton natans* L.), пузырчатка обыкновенная (*Utricularia vulgaris* L.), тростник обыкновенный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.).

Для фиксирования изменений в популяциях макрофитов рассчитывали в процентном соотношении изменения занимаемой растениями акватории водоема.

Наблюдения за водоемом начались 15.09.2016 и закончились 15.09.2019.

**Основные результаты**

Макрофиты *Phragmites australis*, *Ceratophyllum demersum* и *Utricularia vulgaris* росли у берега, в то время как остальные виды водных растений находились не только у берега, но и стремились расти ближе к центру водоема.

Элодея прижилась. В 2017 г. (первый год наблюдений) появилось девять веток (побегов). Акватория, которую занимала *E. canadensis* в водоеме, была меньше 1%.

В 2018 г. (второй год наблюдений) элодея начала активно захватывать свободную акваторию водоема (табл. 2).

Таблица 2

## Процентное соотношение занимаемой акватории водоема растениями

Table 2

## Percentage of water area occupied by plants

2016 год	
Название вида	% занимаемой акватории
<i>Ceratophyllum demersum</i>	11%
<i>Ceratophyllum submersum</i>	6%
<i>Chara vulgaris</i>	17%
<i>Potamogeton natans</i>	8%
<i>Phragmites australis</i>	3%
<i>Utricularia vulgaris</i>	3%
<i>Elodea canadensis</i> (интродуцированный вид)	Произошла интродукция (3 гр. биомассы)
Акватория без растений	52%
2017 год	
Название вида	% занимаемой акватории
<i>Ceratophyllum demersum</i>	11%
<i>Ceratophyllum submersum</i>	6%
<i>Chara vulgaris</i>	17%
<i>Potamogeton natans</i>	8%

<i>Phragmites australis</i>	3%
<i>Utricularia vulgaris</i>	3%
<i>Elodea canadensis</i> (интродуцированный вид)	< 1%
Акватория без растений	52%
2018 год	
Название вида	% занимаемой акватории
<i>Ceratophyllum demersum</i>	11%
<i>Ceratophyllum submersum</i>	6%
<i>Chara vulgaris</i>	17%
<i>Potamogeton natans</i>	8%
<i>Phragmites australis</i>	3%
<i>Utricularia vulgaris</i>	3%
<i>Elodea canadensis</i> (интродуцированный вид)	38%
Акватория без растений	14%
2019 год	
Название вида	% занимаемой акватории
<i>Ceratophyllum demersum</i>	10%
<i>Ceratophyllum submersum</i>	3%
<i>Chara vulgaris</i>	11%
<i>Potamogeton natans</i>	8%
<i>Phragmites australis</i>	3%
<i>Utricularia vulgaris</i>	1%
<i>Elodea canadensis</i> (интродуцированный вид)	64%
Акватория без растений	0%

В 2019 г. (третий год наблюдений) *E. canadensis* продолжила захват акватории. Четыре вида растений (*Ceratophyllum submersum*, *Chara vulgaris*, *Utricularia vulgaris*, *Ceratophyllum demersum*) уменьшили размеры своих популяций в водоеме (табл. 2). Тростник (*Phragmites australis*) и Рдест (*Potamogeton natans*) – виды, сохранившие свои места обитания (без изменений) после трех лет наблюдений. За три года элодея заняла всю акваторию водоема, находящуюся без растений.

### Заключение

Интродуцированный вид (*Elodea canadensis*) за три года занял 64% акватории водоема (табл. 2). Макрофит *E. canadensis* занял всю свободную акваторию водоема. Элодея заняла акваторию растений, которые уменьшили свои ареалы.

Проведенный опыт показал, что макрофит *E. canadensis* удобно выращивать для целей фиторемедиации, так как он быстро адаптируется и размножается в новых для себя акваториях. Убедительно доказано, что *E. canadensis* обладает высокой плодовитостью и выживаемостью в водной среде. Элодея является инвазионным видом, так как за три года проявила высокую инвазионную активность (заселила своими побегамися всю свободную акваторию водоема).

Новые данные о *E. canadensis*, полученные в этом исследовании, вносят вклад в понимание поведения элодеи в интродуцированных условиях. Полученная информация будет полезной для создания научных основ фитотехнологий. Изложенные результаты подтверждают и расширяют свидетельства о том, что *E. canadensis* может являться сорняком для водоемов и затруднять судоходство, но может быть полезной для ремедиации водных сред от антропогенного загрязнения.

### Литература

1. Поклонов, В. А. Фитотоксическое воздействие смеси тяжелых металлов на макрофит *Elodea canadensis* в условиях экспериментальных экосистем / В. А. Поклонов // Водное хозяйство России : проблемы, технологии, управление. – 2017. – № 1. – С. 120–126.
2. Kipriyanova, L.M. (2019). The *Elodea canadensis* michx. records in Novosibirsk region (Russia). *Russian Journal of Biological Invasions*, 10(3), pp. 227–235.
3. Johnson, M.E. (2011). Study of the interactions between *Elodea canadensis* and CuO nanoparticles. *Russian Journal of General Chemistry*, 81, pp. 2688–2693.

4. Поклонов, В. А. Влияние меди и никеля на макрофиты в условиях экспериментальных микрокосмов при низкой температуре воды / В. А. Поклонов // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. – 2016. – № 3 (54). – С. 17–24.
5. Изучение действия тяжелых металлов (Zn, Cd, Pb, Cu) на рост и развитие *E. canadensis* в модельных опытах / М. О. Бауенова, Н. Р. Акмуханова, А. К. Садвакасова [и др.] // Вестник КазНУ. Серия экологическая. – 2016. – № 4 (49). – С. 118–125.
6. Поклонов, В. А. Удаление ионов алюминия из воды экспериментальных систем водным растением *Elodea canadensis* / В. А. Поклонов, О. И. Доничева // Водоподготовка. Водоочистка. Водоснабжение. – 2017. – № 9 (117). – С. 26–30.
7. Jacob, D.L. (2013). Uptake and translocation of Ti from nanoparticles in crops and wetland plants. *International Journal of Phytoremediation*, 15, pp. 142–153.
8. Поклонов, В. А. Токсическое воздействие органических ксенобиотиков на три вида высших водных растений / В. А. Поклонов // Вода : химия и экология. – 2017. – № 8 (110). – С. 88–93.
9. Поклонов, В.А. Изучение устойчивости пресноводных растений к СПАВ-содержащему смесевому препарату / В. А. Поклонов // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. – 2017. – № 2 (58). – С. 28–38.
10. Poklonov, V.A. (2021). Study of the toxicity of synthetic surfactant-containing composite detergents on plant hydrobionts under laboratory conditions. *Russian Journal of General Chemistry*, 91(13), pp. 2908–2916.
11. Mosoarca, G. (2018). Adsorption, Bioaccumulation and kinetics parameters of the phytoremediation of cobalt from wastewater using *Elodea Canadensis*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 100(5), pp. 733–739.
12. Picco, P. (2019). Arsenic species uptake and translocation in *Elodea Canadensis*. *International Journal of Phytoremediation*, 21(7), pp. 693–698.
13. Ceglowska, A. (2016). Copper and zinc in *Elodea canadensis* from rivers with various pollution levels. *Ecological Indicators*, 67, pp. 156–165.
14. Marcelo, P.G. (2019). Enrofloxacin and Roundup interactive effects on the aquatic macrophyte *Elodea canadensis* physiology. *Environmental Pollution*, 249, pp. 453–462.
15. Дмитриева, Н. Г. Роль макрофитов в превращении фосфора в воде / Н. Г. Дмитриева, Л. О. Эйнон // Водные ресурсы. – 1985. – № 5. – С. 101–110.
16. Van Koetsem, F. (2016). Impact of water composition on association of Ag and CeO<sub>2</sub> nanoparticles with aquatic macrophyte *Elodea canadensis*. *Environ. Sci. Pollut. Res*, 23(6), pp. 5277–5287.
17. Новое о фиторемедиационном потенциале : ускорение снижения концентраций тяжелых металлов (Pb, Cd, Zn, Cu) в воде в присутствии элодеи / С. А. Остроумов, С. В. Котелевцев, Т. В. Шестакова [и др.] // Экологическая химия. – 2009. – Т. 18. – № 2. – С. 111.
18. Poklonov, V.A. (2021). *Prevention of hydrosphere's pollution by aluminum*. *International science and technology conference on earth science, istcearthscience* (Vladivostok, 06–09 October 2020). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. S. "International Science and Technology Conference "Earth Science" - Chapter 2" United Kingdom. London: IOP Publishing, – P. 032049.
19. Basil, A. (2012). Toxicity, accumulation, and removal of heavy metals by three aquatic macrophytes. *International Journal of Phytoremediation*, 14(4), pp. 374–387.
20. Kurade, M.B. (2021). Phytoremediation as a green biotechnology tool for emerging environmental pollution: A step forward towards sustainable rehabilitation of the environment. *Chemical Engineering Journal*, 415, pp. 1–19.
21. Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100) : монография / В. Г. Петросян, Ю. Ю. Дгебуадзе, Л. А. Хляп [и др.]. – Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2018. – 688 с.
22. Hillman, J. (2023). Herbicide treatment of invasive *Elodea canadensis* in Alaska: impacts on macrophyte-associated aquatic insects. *Undergraduate research and engagement symposium archive*, 147. – URL: <https://ecommons.luc.edu/> (Accessed: 15.10.2023).
23. Gallegos-Ibanez, D. (2023). Ensiling of Invasive *Elodea sp.*, a Novel Aquatic Biomass Feedstock for the Sustainable Biogas Production: Effects of Wheat Straw and Silage Additives on Silage Quality and Methane Production. *ACS Agricultural Science & Technology*, 6, pp. 477–486.
24. Черный список флоры Чеченской Республики / С. Х. Шагапсоев, В. А. Чадаева, М. А. Тайсумов, К. А. Шагапсоева // Российский журнал биологических инвазий. – 2022. – Т. 15. – № 3. – С. 186–200.

25. Находки элодеи канадской *Elodea canadensis* в Новосибирской области (Россия) / Л. М. Киприянова, А. Н. Ефремов, А. В. Котовщиков, Л. В. Яныгина // Российский журнал биологических инвазий. – 2019. – Т. 12. – № 2. – С. 39–51.

26. Новые для флоры Якутии *Elodea canadensis*, *Hydrilla verticillata* (*Hydrocharitaceae*) и *Potamogeton maackianus* (*Potamogetonaceae*) / А. А. Бобров, В. А. Филиппова, Е. Г. Николин, Е. В. Чемерис // Ботанический журнал. – 2017. – Т. 12. – № 2. – С. 222–231.

### References

1. Poklonov, V.A. (2017). Phytotoxic effects of heavy metal mixture on the macrophyte *Elodea canadensis* under experimental ecosystem conditions. *Water sector of Russia: problems, technologies, management*, 1, pp. 120–126.
2. Kipriyanova, L.M. (2019). The *Elodea canadensis* michx. records in Novosibirsk region (Russia). *Russian Journal of Biological Invasions*, 10(3), pp. 227–235.
3. Johnson M.E. (2011). Study of the interactions between *Elodea canadensis* and CuO nanoparticles Ostroumov S. A., Tyson J. F., Xing B. / M. E. Johnson, S. A. Ostroumov, J. F. Tyson, B. Xing. *Russian Journal of General Chemistry*, 81, pp. 2688–2693.
4. Poklonov, V.A. (2016). Influence of Copper and Nickel on Macrophytes in the Conditions of Experimental Microcosms at Low Water Temperature. *Vestnik of NEFU*, 3(54), pp. 17–24.
5. Study of the effect of heavy metals (Zn, Cd, Pb, Cu) on the growth and development of *E. canadensis* in model experiments. (2016). *Vestnik KazNU. Series of Ecology*, 4(49). pp. 118–125.
6. Poklonov, V.A. (2017). The water of experimental systemic aquatic plants *Elodea Sanadensis* affects ion removal. *Vodoochistka. Vodosnabzhenie*, 9(117). pp. 26–30.
7. Jacob, D.L. (2013). Uptake and translocation of Ti from nanoparticles in crops and wetland plants. *International Journal of Phytoremediation*, 15, pp. 142–153.
8. Poklonov, V.A. (2017). Toxic influence of organic xenobiotics on three species of higher aquatic plants. *Water: chemistry and ecology*, 8(110). pp. 88–93.
9. Poklonov, V.A. (2017). Study of the resistance of freshwater plants to a surfactant-containing mixed preparation. *Vestnik of NEFU*, 2(58), pp. 28–38.
10. Poklonov, V.A. (2021). Study of the toxicity of synthetic surfactant-containing composite detergents on plant hydrobionts under laboratory conditions. *Russian Journal of General Chemistry*, 91(13), pp. 2908–2916.
11. Mosoarca, G. (2018). Adsorption, Bioaccumulation and kinetics parameters of the phytoremediation of cobalt from wastewater using *Elodea Canadensis*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 100(5), pp. 733–739.
12. Picco, P. (2019). Arsenic species uptake and translocation in *Elodea Canadensis*. *International Journal of Phytoremediation*, 21(7), pp. 693–698.
13. Ceglowska, A. (2016). Copper and zinc in *Elodea canadensis* from rivers with various pollution levels. *Ecological Indicators*, 67, pp. 156–165.
14. Marcelo, P.G. (2019). Enrofloxacin and Roundup interactive effects on the aquatic macrophyte *Elodea canadensis* physiology. *Environmental Pollution*, 249. pp. 453–462.
15. Dmitrieva, N.G. (1985). The role of macrophytes in the transformation of phosphorus in water. *Water resources*, 5, pp. 101–110.
16. Van Koetsem, F. (2016). Impact of water composition on association of Ag and CeO<sub>2</sub> nanoparticles with aquatic macrophyte *Elodea canadensis*. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 23(6), pp. 5277–5287.
17. Ostroumov, S.A. (2009). New information about phytoremediation potential: accelerating the reduction of heavy metal concentrations (Pb, Cd, Zn, Cu) in water in the presence of *Elodea*. *Environmental chemistry*, 18(2). P. 111.
18. Poklonov, V.A. (2021). Prevention of hydrosphere's pollution by aluminium. International science and technology conference on earth science, istcearthscience (Vladivostok, October 6-9, 2020) / V sbornike: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "International Science and Technology Conference "Earth Science" - Chapter 2" United Kingdom. London: IOP Publishing, P. 032049.
19. Basil, A. (2012). Toxicity, accumulation, and removal of heavy metals by three aquatic macrophytes. *International Journal of Phytoremediation*, 14(4), pp. 374–387.

20. Kurade, M.B. (2021). Phytoremediation as a green biotechnology tool for emerging environmental pollution: A step forward towards sustainable rehabilitation of the environment. *Chemical Engineering Journal*, 415, pp. 1–19.

21. Petrosyan V.G. (2018). The most dangerous invasion species of Russia (TOP-100): monography / V.G. Petrosjan, Ju. Ju. Dgebuadze, L. A. Hljap. Moscow: Tovarishhestvo nauchnyh izdaniy KMK, 688 p.

22. Hillman, J. (2023). Herbicide treatment of invasive *Elodea canadensis* in Alaska: impacts on macrophyte-associated aquatic insects. Undergraduate research and engagement symposium archive, 147. – URL: <https://ecommons.luc.edu/> (access date: 15.10.2023).

23. Gallegos-Ibanez, D. (2023). Ensiling of Invasive *Elodea sp.*, a Novel Aquatic Biomass Feedstock for the Sustainable Biogas Production: Effects of Wheat Straw and Silage Additives on Silage Quality and Methane Production. *ACS Agricultural Science & Technology*, 6, pp. 477–486.

24. Shhagapsoev, S.H. (2022). Black list of flora of the Chechen Republic. *Russian journal of biological invasions*, 15(3), pp. 186–200.

25. Kipriyanova, L.M. (2019). Findings of *Elodea canadensis* in the Novosibirsk region (Russia). *Russian journal of biological invasions*, 12(2), pp. 39–51.

26. Bobrov, A.A. (2017). *Elodea canadensis*, *Hydrilla verticillata* (Hydrocharitaceae) and *Potamogeton maackianus* (Potamogetonaceae) new to the flora of Yakutia. *Botanic journal*, 12(2), pp. 222–231.

*ПОКЛОНОВ Владислав Александрович* – к. б. н., зав. лаб. водоподготовки, водоочистки и экологического мониторинга водных объектов, МНЭПУ.

E-mail: warvir@rambler.ru

*POKLONOV Vladislav Aleksandrovich* – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Water Treatment, Water Purification and Environmental Monitoring of Water Bodies of the IUUPS/MNEPU.

*ОСТРОУМОВ Сергей Андреевич* – д. б. н., в. н. с. лаборатории физико-химии биомембран, биологический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова.

E-mail: ar55@yandex.ru

*OSTROUMOV Sergei Andreevich* – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher of the Biomembrane Physicochemistry Laboratory, Faculty of Biology, M.V. Lomonosov Moscow State University.

*АНИКИНА Елизавета Вячеславовна* – к. б. н., экологический факультет, РУДН.

E-mail: likanika2008@yandex.ru

*ANIKINA Elizaveta Vyacheslavovna* – Candidate of Biological Sciences, Faculty of Ecology, RUDN.

*САДЧИКОВ Анатолий Павлович* – д. б. н., проф., Международный биотехнологический центр, МГУ им. М.В. Ломоносова.

E-mail: aquaecotox@yandex.ru

*SADCHIKOV Anatoly Pavlovich* – Doctor of Biological Sciences, Professor, International – Research Centre for Biochemical Technology, M.V. Lomonosov Moscow State University.

*ГЛЕБОВ Виктор Васильевич* – к. б. н., доцент кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева.

E-mail: vg44@mail.ru

*GLEBOV Victor Vasylyevich* – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy.

*ЕРОФЕЕВА Виктория Вячеславовна* – к. б. н., доцент кафедры экологии, безопасности жизнедеятельности и электропитания, Московский технический университет связи и информатики.

E-mail: erofeeva-viktori@mail.ru

*EROFEEVA Victoria Vyacheslavovna* – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology, Life Safety and Power Supply, Moscow Technical University of Communications and Informatics.