DOI: 10.17122/ntj-oil-2020-3-83-91

УДК 502.13

С.В. Леонтьева, Г.Г. Ягафарова, Э.М. Зайнутдинова, И.Ю. Кудрявцева, И.У. Габитова, А.Х. Сафаров (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

ВОДОРОСЛИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД МАЛЫХ РЕК ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Svetlana V. Leonteva, Guzel G. Yagafarova, Elvira M. Zainutdinova,
Inna Yu. Kudryavtseva, Ilzira U. Gabitova, Albert H. Safarov (Ufa State Petroleum
Technological University, Ufa, Russian Federation)

SEAWEED FOR TREATMENT OF SURFACE WATER OF SMALL RIVERS FROM HEAVY METAL IONS

Введение

Статья посвящена актуальной проблеме очистки малых рек, расположенных в непосредственной близости от промышленных предприятий.

Цели и задачи

Оценка способности высших водных растений элодеи канадской (*Elodea canadensis*) и кладофоры шаровидной (*Cladophora aegagropila*) аккумулировать ионы тяжелых металлов из загрязненной воды малых рек при их использовании в виде монокультур, а также при совместном культивировании.

Методы

Проведение экспериментальных исследований различных показателей воды (особое внимание уделено определению ионов тяжелых металлов), а также фитотоксичности. Исследования проведены в аккредитованной лаборатории.

Результаты

Водоросли родов элодея и кладофора способны к биоаккумуляции ионов тяжелых металлов из природной речной воды и могут быть использованы для очистки водных объектов, в том числе малых рек.

Background

The article is devoted to the urgent problem of cleaning small rivers located in close proximity to industrial enterprises.

Aims and Objectives

Assessment of the ability of higher aquatic plants Canadian elodea (*Elodea canadensis*) and Cladophora Spherical (*Cladophora aegagropila*) to accumulate heavy metal ions from polluted water of small rivers, when used as monocultures, as well as in joint cultivation.

Methods

Conducting experimental studies of various indicators of water (special attention is paid to the determination of heavy metal ions), as well as phytotoxicity. Research conducted in a standardized laboratory.

Results

The algae of the genera of Elodea and Cladophore are capable of bioaccumulating heavy metal ions from natural river water and can be used to clean water objects, including small rivers.

Очистку малых рек и водных объектов предлагается осуществлять путем применения специальных конструкций, где в качестве биоаккумуляторов токсичных экотоксикантов, в том числе тяжелых металлов, используют водную растительность: элодею канадскую *Elodéa canadensis* и кладофору шаровидную *Cladophora aegagropila*.

It is proposed to clean small rivers and water bodies using special constructions where aquatic vegetation is used as bioaccumulators of toxic ecotoxikants, including heavy metals: Canadian elodea *Elodéa canadensis* and cladophora spherical *Cladophora aegagropila*.

Ключевые слова: водоросли; малые реки; тяжелые металлы; нефтепродукты; биотестирование; мониторинг; экотоксиканты; загрязнение

Key words: seaweed; small rivers; heavy metals; petroleum products; biotesting; monitoring ecotoxikants; pollution

Введение

Проблема охраны природных водных объектов, расположенных в промышленно развитых регионах, с каждым годом приобретает все большее значение.

В Российской Федерации большинство рек относится к малым. В Республике Башкортостан насчитывается 12725 рек общей протяжённостью 57366 км. 99,9 % из них составляют малые реки длиной менее 100 км. Большинство из них относится к загрязненным водным объектам.

Основная особенность формирования стока, а также характер загрязнений воды и донных отложений малых рек тесно связаны с ландшафтом бассейна. Особенно это касается малых рек, протекающих по территории промышленных зон. При этом существенным фактором изменения химического состава воды малых рек является поступление ливневых сточных вод с территорий промышленных предприятий. Особенно остро эта проблема стоит в период весеннего паводка. Именно в апреле-мае в воду малых рек поступают наибольшее количество экотоксикантов, в том числе тяжелых металлов. Их широкое применение в различных промыш-

ленных производствах, в том числе в качестве катализаторов, а также недостаточно эффективные очистительные мероприятия приводят к тому, что тяжелые металлы накапливаются в воде и донных отложениях малых рек [1].

Большинство способов очистки малых рек являются дорогостоящими и сложными в исполнении. В последние годы все большее внимание привлекают биотехнологические методы, поэтому актуальными являются направление повышения эффективности существующих и разработка новых методов, позволяющих провести очистку воды малых рек от экотоксикантов.

Целью данной работы являлась оценка способности высших водных растений элодеи канадской (*Elodéa canadensis*) и кладофору шаровидной (*Cladophora aegagropila*) аккумулялировать ионы тяжелых металлов из загрязненной воды малых рек при их использовании в виде монокультур, а также при совместном культивировании. Результаты лабораторных исследований свидетельствуют о способности некоторых водных растений, в том числе элодеи и кладофоры, сорбировать различные органические экотоксиканты и ионы тяжелых металлов [2-4].

Элодея - водное растение, обитающее в пресных водоемах России и Республики Башкортостан. Элодея неприхотлива, легко переносит длительное снижение температуры до 12 °С, колебания показателей жесткости и pH воды.

Кладофора представляет собой колонию зеленых нитчатых водорослей, радиально расположенных нитями. При этом образуются пористые шары. Благодаря своей структуре кладофора является прекрасным механическим и биологическим фильтром для воды. Обитает в солоноватых водоемах с температурным диапазоном от 14 °С до 18 °С и нейтральным pH. В природных водоемах обитает на дне, в затененных местах.

С целью изучения способности исследуемых растений были проведены исследования в модельных образцах воды, содержащих ионы тяжелых металлов (медь, цинк, железо).

Материалы и методы

Культивирование растений проводили в колбе путем погружения, также производилось совместное культивирование элодеи и кладофоры при соотношении массы 1 : 1. Срок культивирования составил 8 ч. В качестве загрязняющих веществ использовали соли тяжелых металлов, таких как медь, цинк, железо. Начальная концентрация ионов тяжелых металлов составила 2,5 мг/л. Для анализа пробы воды отбирались каждые 2 ч. В качестве контроля использовалась исследуемая вода без растений.

В качестве объекта исследования была выбрана река Шугуровка.

На втором этапе исследования проводили с загрязненной водой, отобранной из реки Шугуровка по аналогичной схеме.

Река Шугуровка - большой (протяженность 30 км, площадь водосбора 100 км²) правобережный приток реки Уфа. Река протекает по территории северной промышленной зоны города Уфа, нескольких населенных пунктов и дачных поселков. В нескольких местах река пересекается железнодорожными и автомобильными дорогами. На берегах реки имеются несанкционированные свалки, а

также скопления твердых коммунальных отходов. Талые и ливневые воды с территорий нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий, автодорог и железнодорожных путей по рельефу местности могут загрязнять реку Шугуровка и далее реку Уфа - одного из основных источников питьевого водоснабжения города [2].

В результате проведенного экологического мониторинга сезонных загрязнений воды в реке Шугуровка выявлено, что в районе русла наблюдалось превышение ПДК по нефтепродуктам в 1,36-1,72 раза. Кроме того, наблюдается загрязнение реки ионами тяжелых металлов, такими как Cu, Sr, Mn, Fe [3]. Результаты биотестирования свидетельствуют о высокой токсичности воды реки Шугуровка практически на всем протяжении, хотя у истоков степень загрязнения не превышает допустимых норм [3].

О способности водорослей аккумулировать ионы тяжелых металлов судили по уменьшению их содержания в очищенной воде, а также косвенно по изменению ее токсичности.

Анализы проводили в аккредитованной лаборатории по сертифицированным методикам [5-7]. Концентрацию марганца, стронция и железа (менее 0,05 мг/дм³) определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Метод основан на измерении резонансного поглощения света свободными атомами определяемого металла при прохождении света через атомный пар анализируемого образца. Исследования проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре SHIMADZU [8].

Концентрации ионов марганца и меди (более 0,05 мг/дм³) определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией. Метод основан на измерении резонансного поглощения света свободными атомами определяемого элемента при прохождении света через атомный пар анализируемого образца, который образуется в графитовом атомизаторе. Исследования проводили на атомно-абсорбционных спектрофотометрах VARIAN SpectrAA-220 и SHIMADZU согласно ПНД Ф 14.1:2:4.140-98, М-03-505-119-08 [6].

Исследования по определению биотоксичности проб воды реки Шугуровка проводили на приборе Биотестер-2. В качестве тест-объекта использовали простейший организм *Paramecium caudatum*, клетки которого культивируются по стандартным методикам. Метод основан на ответной реакции тест-объектов на действие токсиканта с изменением поведенческих реакций [6].

Результаты исследований

На первом этапе работы изучались особенности изменения концентраций ионов тяжелых металлов (железа, меди, цинка) в модельных водах при отдельном культивировании кладофоры и элодеи, а также производилось совместное культивирование элодеи и кладофоры при соотношении масс 1 : 1.

В ходе проведения эксперимента получена положительная динамика снижения концентрации ионов тяжелых металлов в воде. Установлено, что концентрация всех исследованных тяжелых металлов сократилась до показателей ниже ПДК за 7 ч.

При совместном культивировании кладофоры и элодеи в модельных водах достигнуты следующие показатели: содержание цинка - 0,01 мг/л, железа - 0,02 мг/л, меди - 0,01 мг/л.

Положительные результаты очистки модельной воды позволили провести исследования на реальных природных водах с повышенным содержанием ионов тяжелых металлов реки Шугуровка.

Результаты изучения процесса аккумуляции водорослями ионов тяжелых металлов в воде реки Шугуровка представлены на рисунках 1-4.

Из исследованных водорослей большей аккумуляционной способностью обладает кладофора, при этом содержание ионов меди уменьшилось с 0,0014 до 0,0010 мг/л; марганца - с 0,061 до 0,01 мг/л; железа - с 0,11 до 0,06 мг/л; стронция - с 1,0 до 0,61 мг/л; никеля - с 0,0059 до 0,0051 мг/л.

При совместном культивировании элодеи и кладофоры аккумуляция ионов тяжелых металлов выше, чем при их отдельном культивировании, при этом удалось достигнуть очистки речной воды до экологически безопасного уровня. Концентрации всех исследованных металлов снизились до показателей ниже ПДК.

Таким образом, водоросли родов элодея и кладофора способны к биоаккумуляции ионов тяжелых металлов из природной речной воды и могут быть использованы для очистки водных объектов, в том числе малых рек [9-12].

Очистку малых рек и водных объектов предлагается осуществлять путем применения специальных конструкций, где в качестве биоаккумуляторов токсичных экотоксикантов, в том числе тяжелых металлов, используют водную растительность: элодею канадскую *Elodea canadensis* и кладофору шаровидную *Cladophora aegagropila*.

Схема конструкции представлена на рисунке 5.

Рисунок 1. Динамика аккумуляции водорослями ионов меди в речной воде

Рисунок 2. Динамика аккумуляции водорослями ионов марганца в речной воде

Рисунок 3. Динамика аккумуляции водорослями ионов железа в речной воде

Рисунок 4. Динамика аккумуляции водорослями ионов стронция в речной воде

Рисунок 5. Конструкция фильтрующего сооружения для очистки воды малых рек от ионов тяжелых металлов

Вывод

Установлено, что водоросли родов элодея и кладофора способны к биоаккумуляции ионов тяжелых металлов из природной речной воды и могут быть использованы для очистки водных объектов, в том числе малых рек. Очистку малых рек и водных объектов

предлагается осуществлять путем применения специальных конструкций, где в качестве биоаккумуляторов токсичных экотоксикантов, в том числе тяжелых металлов, используют водную растительность: элодею канадскую *Elodéa canadensis* и кладофору шаровидную *Cladophora aegagropila*.

Список литературы

1. Магасумова А.Т., Смирнова Т.П., Ступин А.П., Сафарова В.И., Хатмуллина Р.М., Фатьянова Е.В. Оценка экологического состояния реки Шугуровка // Вода: химия и экология. 2011. № 11 (41). С. 97-101.
2. Сафаров А.М., Ягафарова Г.Г., Леонтьева С.В., Сафарова Р.В. Влияние нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятий на качество поверхностных вод // Водоочистка. 2015. № 7. С. 19-22.
3. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2018 г. Уфа: Минэкологии РБ, 2019. 276 с.
4. Леонтьева С.В., Ягафарова Г.Г., Фатихова Н.И., Габитова И.У., Зиновьева Н.А., Федорова Ю.А., Кузнецова Г.М., Ягафарова Д.И. Мониторинг загрязнения экотоксикантами малых рек (на примере реки Шугуровка) // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2017. № 1 (25). С. 116-125. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.01.10.
5. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2000. 31 с.
6. ПНД Ф 14.1:2.4.128-98. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых, сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флуорат-02». М.: Росприроднадзор, 2012. 30 с.
7. Сухарева Ю.А., Ягафарова Г.Г., Коржова Л.Ф., Фатихова Н.И., Леонтьева С.В., Миклулик В.В. Биоаккумуляция органических загрязнений с использованием высших водных растений // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 1. С. 169-172.
8. Сухарева Ю.А., Ягафарова Г.Г. Очистка сточных вод от нефти и нефтепродуктов с использованием водорослей Elodea // Перспективы науки - 2016: матер. IV междунар. заочн. конкурса науч.-исслед. работ. Казань: Изд-во Рокета Союз, 2016. С. 29-32.
9. Фатихова Н.И., Ягафарова Г.Г., Коржова Л.Ф., Леонтьева С.В., Ягафарова Д.И. Очистка сточных вод от фенольных соединений с использованием водорослей Cladophora Aegagropila // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 10. С. 152-153.
10. Зайнутдинова Э.М., Ягафарова Г.Г. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с использованием водных растений // Башкирский химический журнал. 2013. Т. 20. № 3. С. 150-152.
11. Пат. 2624038 РФ, МПК С 02 F 3/34. Способ очистки водных объектов от пленочных и эмульгированных нефтепродуктов / Г.Г. Ягафарова, Л.Р. Акчурина, Ю.А. Федорова, С.В. Леонтьева, Д.И. Ягафарова, Н.И. Фатихова, А.Х. Сафаров. 2016112076, Заявлено 30.03.2016; Опубл. 30.06.2017. Бюл. 19.
12. Ягафарова Г.Г., Валиахметова Ю.А.,

References

1. Magasumova A.T., Smirnova T.P., Stupin A.P., Safarova V.I., Khatmullina R.M., Fatyanova E.V. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya reki Shugurovka [Evaluation of Ecological State of River Shugurovka]. *Voda: khimiya i ekologiya - Water: Chemistry and Ecology*, 2011, No. 11, pp. 97-101. [in Russian].
2. Safarov A.M., Yagafarova G.G., Leont'eva S.V., Safarova R.V. Vliyaniye neftekhimicheskikh i neftepererabatyvayushchikh predpriyatii na kachestvo poverkhnostnykh vod [Effect of Petrochemical and Oil Processing Plants over Quality of Surface Waters]. *Vodoochistka - Water Treatment*, 2015, No. 7, pp. 19-22. [in Russian].
3. Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii prirodnnykh resursov i okruzhayushchei sredy Respubliki Bashkortostan v 2018 g. [State Report on the State of Natural Resources and the Environment of the Republic of Bashkortostan in 2018]. Ufa, Minekologii RB Publ., 2019. 276 p. [in Russian].
4. Leont'eva S.V., Yagafarova G.G., Fatikhova N.I., Gabitova I.U., Zinov'eva N.A., Fedorova Yu.A., Kuznetsova G.M., Yagafarova D.I. Monitoring zagryazneniya ekotoksikantami malykh rek (na primere reki Shugurovka) [Monitoring of Pollution Ecotoxikants Small Rivers (the Example of River Shugurovka)]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika - Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urban Development*, 2017, No. 1 (25), pp. 116-125. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.01.10. [in Russian].
5. GOST R 51592-2000. Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob [State Standard R 51592-2000. Water. General Requirements for Sampling]. Moscow, Standartinform Publ., 2000. 31 p. [in Russian].
6. PND F 14.1:2.4.128-98. Kolichestvennyi khimicheskii analiz vod. Metodika izmerenii massovoi kontsentratsii nefteproduktov v probakh prirodnnykh, pit'evykh, stochnykh vod fluorimetricheskim metodom na analizatore zhidkosti «Flyuorat-02» [PND F 14.1:2.4.128-98. Quantitative Chemical Analysis of Water. The Method of Measuring the Mass Concentration of Oil Products in Samples of Natural, Drinking, Waste Water Fluorimetric Method on a Fluid Analyzer «Flyuorat-02»]. Moscow, Rosprirodnadzor Publ., 2012. 30 p. [in Russian].
7. Sukhareva Yu.A., Yagafarova G.G., Korzhova L.F., Fatikhova N.I., Leont'eva S.V., Mikulik V.V. Bioakkumulyatsiya organicheskikh zagryaznenii s ispol'zovaniem vysshikh vodnykh rastenii [Bioaccumulation of Organic Pollutants Using Higher Aquatic Plants]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta - Herald of Technological University*, 2017, Vol. 20, No. 1, pp. 169-172. [in Russian].
8. Sukhareva Yu.A., Yagafarova G.G. Ochistka stochnykh vod ot nefti i nefteproduktov s ispol'zovaniem vodoroslei Elodea [Oil and Oil Products Wastewater Treatment Using Algae Elodea]. *Materialy IV mezhdunarodnogo zaochnogo konkursa nauchno-issledovatel'skikh rabot «Perspektivy nauki -*

Леонтьева С.В., Сафаров А.Х. Очистка водных объектов от экотоксикантов. Уфа: УГНТУ, 2018. 266 с.

2016» [Materials of the IV International Correspondence Competition of Research Works «Perspectives of Science - 2016»]. Kazan, Roketa Soyuz Publ., 2016, pp. 29-32. [in Russian].

9. Fatikhova N.I., Yagafarova G.G., Korzhova L.F., Leonteva S.V., Yagafarova D.I. Ochistka stochnykh vod ot fenol'nykh soedinenii s ispol'zovaniem vodoroslei Cladophora Aegagropila [Phenolic Compounds Wastewater Treatment Using Algae Cladophora Aegagropila]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta - Herald of Technological University*, 2016, Vol. 19, No. 10, pp. 152-153. [in Russian].

10. Zainutdinova E.M., Yagafarova G.G. Ochistka stochnykh vod ot ionov tyazhelykh metallov s ispol'zovaniem vodnykh rastenii [Sewage Treatment from Ions of Heavy Metals with use of Water Plants]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal - Bashkir Chemical Journal*, 2013, Vol. 20, No. 3. pp. 150-152. [in Russian].

11. Yagafarova G.G., Akchurina L.R., Fedorova Yu.A., Leonteva S.V., Yagafarova D.I., Fatikhova N.I., Safarov A.Kh. *Sposob ochistki vodnykh ob'ektov ot plenochnykh i emul'girovannykh nefteproduktov* [Method of Cleaning Water Objects from Filmy and Emulsified Oil Products]. Patent RF, No. 2624038, 2017. [in Russian].

12. Yagafarova G.G., Valiakhmetova Yu.A., Leonteva S.V., Safarov A.Kh. *Ochistka vodnykh ob'ektov ot ekotoksikantov* [Purification of Water Bodies from Ecotoxikants]. Ufa, UGNTU Publ., 2018. 266 p. [in Russian].

Авторы

• Леонтьева Светлана Валерьевна, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Доцент кафедры «Прикладная экология»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: 9174414264@mail.ru

• Ягафарова Гузель Габдулловна, д-р техн. наук, профессор
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Заведующая кафедрой «Прикладная экология»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: Kafedra_ecologia@mail.ru

The Authors

• Leonteva Svetlana V., Candidate of Engineering Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Applied Ecology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: 9174414264@mail.ru

• Yagafarova Guzel G., Doctor of Engineering Sciences, Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Head of Applied Ecology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: Kafedra_ecologia@mail.ru

• Зайнутдинова Эльвира Муратовна, канд. биол. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Прикладная экология»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: elvira-zaynutdinova@rambler.ru

• Zainutdinova Elvira M., Candidate of Biological
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Applied Ecology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: elvira-zaynutdinova@rambler.ru

• Кудрявцева Инна Юрьевна
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Магистрант кафедры «Прикладная экология»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: chidega@mail.ru

• Kudryavtseva Inna Yu.
Ufa State Petroleum Technological University
Undergraduate Student of Applied Ecology
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: chidega@mail.ru

• Габитова Ильзира Ураловна
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Магистрант кафедры «Прикладная экология»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: ilsira.gabitova/2016@mail.ru

• Gabitova Ilzira U.
Ufa State Petroleum Technological University
Undergraduate Student of Applied Ecology
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: ilsira.gabitova/2016@mail.ru

• Сафаров Альберт Хамитович, канд. техн. наук,
доцент
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Прикладная экология»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: Alsaf1978@mail.ru

• Safarov Albert Kh., Candidate of Engineering
Sciences, Associate Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Applied Ecology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: Alsaf1978@mail.ru