

УДК 574.522

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ И АККУМУЛЯЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ВЫСШИХ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕК НЕФТЕПРОДУКТАМИ

^{1,2}Денисова Е.С.¹ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», Омск;²Омский институт водного транспорта (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», Омск, e-mail: denisova_100@mail.ru

В лабораторном эксперименте с внесением в водоем с водорослями трех концентраций нефти, дизельного топлива и бензина определена способность растений к очистке воды от нефтепродуктов, а также их устойчивость к данным веществам по реакции пигментного комплекса, активности каталазы, пероксидазы и полифенолоксидазы. Нефть, дизельное топливо и высокие концентрации бензина снижали содержание хлорофиллов и каротиноидов в растениях. Повышение активности окислительных ферментов сменялось их ингибированием при более высоких концентрациях нефтепродуктов. Отмечен статистически достоверный рост содержания фенолов в растениях прямо пропорционально концентрации вносимого токсиканта. Концентрация нефтепродуктов в водоеме с водорослями через неделю после внесения снижалась максимально на 5%. Наименее токсичным для растений из изученных нефтепродуктов оказался бензин.

Ключевые слова: водоросли, устойчивость водных растений, нефтепродукты, аккумулирующая способность растений, активность каталазы, активность пероксидазы, активность полифенолоксидазы, пигментный комплекс

THE RESEARCH OF THE HIGHER AQUATIC PLANTS STABILITY AND ACCUMULATION ABILITY IN THE CONDITION OF RIVER ECOLOGICAL POLLUTION WITH OIL PRODUCTS

^{1,2}Denisova E.S.¹FGBOU VO «Omsk State Technical University», Omsk;²Omsk Institute of Water Transport, the branch of Siberian State University of Water Transport, Omsk, e-mail: denisova_100@mail.ru

The ability of plants to clean water from oil products was determined in a laboratory experiment with bringing in the pond with algae three concentrations of oil, diesel fuel and gasoline. Their stability to this substance was also determined by the pigment complex reaction, the activity of catalase, peroxidase and polyphenol oxidase. Oil, diesel fuel and high concentration of gasoline decreased the content of chlorophyll and carotenoids in plants. The increasing activity of oxidative enzymes changed with their inhibition at higher concentrations of oil products. The statistically reliable growth of the content of phenols in plants was registered in directly proportional to the concentration of toxicant introduced. The concentration of oil in the pond with algae decreased to maximum 5% in a week after introduction. Gasoline was the least toxic for the plants from all researched oil products.

Keywords: algae, stability of aquatic plants, oil products, accumulation ability of plants, activity of catalase, activity of peroxidase, activity of polyphenol oxidase, pigment complex

Повышенное загрязнение рек нефтепродуктами является одной из основных экологических проблем Российской Федерации. Практически все крупные водосточники характеризуются в настоящее время превышением предельно допустимых концентраций по данному веществу, вследствие чего одной из первоочередных экологических задач регионов является решение этого вопроса. Нефтепродукты попадают в водоемы весной с поверхностным стоком территорий, особенно весомым является это явление вблизи крупных промышленных центров, предприятий химической и нефтехимической отрасли, автострад, нефтебаз, топливно-энергетических комплексов. Значительный вклад в загрязнение рек вносит водный транспорт: высо-

кие концентрации нефтепродуктов, мазута, машинного масла обнаруживаются вблизи речных портов, в районе движения судов. Порты осуществляют накопление, хранение и сортировку грузов, их принятие и отправление, выполнение перегрузочных работ и пассажирских операций, бункеровку судов (заправку топливом, водой, продуктами питания и т.д.), обеспечение условий движения судов в акватории порта и их отстоя. Часто к порту примыкают железнодорожные станции с парком отстоя вагонов. На территории порта или около него могут размещаться судоремонтные предприятия. Загрязнение водоемов нефтью и нефтепродуктами происходит в условиях обычного хода производственных процессов по транспортировке нефти, ее переработке

в портах, при ремонте судов и механизмов из-за недостаточной герметичности емкостей и нарушений технологии работ, но в гораздо большей степени в результате аварий танкеров, перевозящих нефтяные грузы. По оценкам экспертов, на нефтепромыслах теряется до 7% от общего объема добываемой нефти, причем пятая часть из них попадает в водоемы. В процессе освоения нефтяных месторождений оказывается активное воздействие на окружающую среду в пределах территорий самих месторождений, трасс линейных сооружений (промысловых и магистральных трубопроводов), а также в ближайших населенных пунктах (городах, поселках). В настоящее время на территории России ежегодно происходит более 20 тысяч официально зарегистрированных аварий, сопровождающихся значительными разливами нефти. Объемы среднего разлива колеблются от 3 до 20 м³. Официально фиксируются только разливы более 8 т., меньший объем считается инцидентом, который не требует декларирования [2].

Нефть и нефтепродукты представляют собой наиболее опасные загрязнители водного бассейна, которые затрудняют все виды водопользования, оказывают отрицательное воздействие на трофические связи и круговороты веществ, приводят к ухудшению физических свойств воды: изменению цвета, вкуса, запаха. Нефтяная пленка препятствует проникновению в воду кислорода воздуха. Повышение концентрации нефти до 20–23 мг/л вызывает нарушение двигательной способности рыб и их гибель. Нефтяные загрязнения разрушают нормальное функционирование экологических систем водоемов. При рассмотрении устойчивости экосистем первостепенное значение имеет состояние водной растительности, являющейся источником кислорода, кормовой базой и укрытием для других водных организмов, промысловых рыб. Основная часть исследований устойчивости водных растений к нефтепродуктам проведена в морской среде [3–10]. Работы по комплексной оценке устойчивости пресноводных высших водных растений по реакции пигментного комплекса, активности окислительных ферментов отсутствуют.

Известно, что растения способны аккумулировать и детоксировать самые различные загрязнения, выступая природным фильтром и способствуя самоочищению водоемов. Так, ООО «Сирена» осуществлен пилотный проект «Очистка арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей», в ходе которого использована новая технология очистки морской

воды от нефтепродуктов: плантация – био-фильтр, основой которой является симбиотическая ассоциация – бурые водоросли и углеводородокисляющие бактерии [4]. Также имеются патенты по способам очистки морской воды от нефти и нефтепродуктов путем биологической обработки воды с использованием водорослей в сочетании с микроорганизмами [5, 6]. Данные способы представляют собой размещение в районе загрязнения фильтра, заполненного плавучей водорослевой плантацией, основу которой составляет система соединенных между собой синтетических канатов, засаженных водорослями и заселенных нефтеокисляющими микроорганизмами. В то же время исследования по очистке *речной* воды от нефтепродуктов с помощью водорослей отсутствуют. Некоторые работы касаются других загрязняющих веществ, например, накоплению радионуклидов в биомассе водных растений [1].

В связи с этим **целью исследования** являлось определение в лабораторных условиях способности некоторых пресноводных растений поглощать нефтесодержащие загрязнения, а также степень их устойчивости к данному фактору по реакции пигментного комплекса и активности окислительных ферментов.

Материалы и методы исследования

Материалом исследования являлись высшие водные растения: *Fontinalis antipyretica* (водный мох), *Potamogeton lucens* (рдест блестящий), *Batrachium kauffmannii* (шелковник), *Elodea canadensis* (элодея). Несмотря на то, что элодея является аквариумным растением, в настоящее время, в условиях химического загрязнения и повышения температуры из-за сброса подогретых сточных вод, она стала появляться и массово развиваться в реках, в частности в реке Енисей, что может привести к вытеснению других видов водорослей из экосистемы и в целом к изменению качества воды.

В лабораторных исследованиях в искусственный водоем с водорослями вносились нефть, бензин и дизельное топливо в концентрациях 0,1, 1 и 10 мг/л. При повышении концентрации токсикантов до 50 мг/л наблюдалось образование нефтяной пленки на поверхности воды. Через 24, 72 и 240 часов после внесения определялось содержание нефтепродуктов в воде водоема, а также содержание фенолов в листьях растений. Через 5, 24 и 72 часа определялись содержание хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов, активность каталазы, пероксидазы и полифенолоксидазы в растениях всех видов. Результаты сравнивались с контрольными образцами, находящимися в аналогичных условиях в водоеме без токсикантов.

Содержание нефтепродуктов в воде определялось фотометрическим методом на анализаторе АН-1 после экстракции четыреххлористым углеродом, содержание фенолов в растениях – титриметрическим методом в присутствии индикатора индигокармина. Активность ферментов полифенолоксидазы и перок-

сидазы определялась по скорости окисления аскорбиновой кислоты. Активность пероксидазы определяли колориметрически по Вильштеттеру, активность полифенолоксидазы – по окислению аскорбиновой кислоты в присутствии пирокатехина. Активность каталазы измерялась титрованием перманганатом калия по Баху и Опарину, содержание хлорофиллов и каротиноидов – спектрофотометрическим методом в ацетоновой вытяжке. Все измерения проводились в свежем материале в трех аналитических повторностях. Статистическая обработка включала корреляционный анализ данных с помощью пакета программ Excel и t-критерий Стьюдента для оценки различий в выборке.

Результаты исследования и их обсуждение

Аккумуляция нефтепродуктов растениями. Корреляционный анализ показал статистически достоверное увеличение концентрации фенолов в растениях всех видов прямо пропорционально концентрации токсикантов ($p \leq 0,05-0,001$). Не выявлено существенной разницы между количеством накопленных растениями нефтепродуктов и видом токсиканта. В среднем количество фенолов увеличивалось на 10-30% по сравнению с контрольными растениями в зависимости от концентрации нефтепродукта. Концентрация нефтепродуктов в водоеме с растениями снижалась на 1-5% ($p \leq 0,05$).

Степень устойчивости водорослей к нефтяному загрязнению. Нефть снижала содержание хлорофиллов и каротиноидов в исследуемых растениях на 20-70% ($p \leq 0,01-0,001$), в низких концентрациях происходило повышение активности полифенолоксидазы и пероксидазы. В дальнейшем с повышением концентрации происходило снижение активности всех исследуемых ферментов. Активность каталазы падала уже при концентрации нефти 0,1 мг/л ($p \leq 0,05$).

Аналогичная ответная реакция отмечена при действии дизельного топлива и бензина. Дизельное топливо оказывало сходное с нефтью влияние на содержание фотосинтезирующих пигментов, концентрация более 10 мг/л снижала содержание хлорофиллов почти в 2 раза ($p \leq 0,001$), с одновременным увеличением активности ферментов. При действии концентраций 1 и 10 мг/л наблюдалось подавление интенсивности фотосинтеза и резкое увеличение активности окислительных ферментов дыхания.

Под действием бензина 0,1 и 1 мг/л отмечался рост количества хлорофиллов и каротиноидов, концентрация 10 мг/л уже подавляла фотосинтез. При действии бензина в концентрации 0,1 мг/л достоверных отличий от контроля не выявлено. Актив-

ность каталазы и полифенолоксидазы увеличивалась прямо пропорционально концентрации, пероксидазы повышалась при концентрации 0,1 мг/л, а в дальнейшем понижалась ($p \leq 0,01-0,001$).

Исследования растений через различное время после внесения токсических веществ показало, что первоначальное снижение интенсивности фотосинтеза и увеличение дыхания, вероятно, связано с токсическим действием нефти, а далее включаются механизмы, компенсирующие это воздействие. Таким образом, при проведении краткосрочных токсикологических экспериментов с водорослями основным показателем их активности являются величины фотосинтеза, которые наиболее зависят от степени воздействия токсикантов. При долгосрочных экспериментах, когда фотосинтетическая активность может быть подавлена токсикантами, интенсивность дыхания будет наиболее показательной для оценки состояния водорослей [7, 8]. Сырая нефть и дизельное топливо в концентрации 10 мг/л вызывали стойкие необратимые изменения в пигментном комплексе растений. Наличие пленки нефти на поверхности воды значительно усиливает отрицательное действие на физиологические системы растений.

Наименее токсичным из вносимых загрязняющих веществ в нашем случае оказался бензин.

Выводы

Таким образом, действие нефтепродуктов снижает фотосинтетическую активность, исключение составляет бензин в малых концентрациях. С увеличением используемых концентраций токсикантов снижалась интенсивность фотосинтеза с одновременным увеличением активности окислительных ферментов дыхания. Это явление, возможно, связано со снижением интенсивности метаболизма, что может быть вызвано адаптивными перестройками фотосинтетического аппарата в ответ на хроническое загрязнение. Аналогичные результаты получены и другими исследователями. Считается, что торможение фотосинтеза и усиление дыхания – это неспецифическое изменение в ответе фототрофного организма на воздействие стрессового фактора [7, 8].

Выявлена существенная роль растений в процессах самоочищения водоемов от нефтепродуктов. При увеличении концентрации фенолов в растениях на 10-30% по сравнению с контрольными образцами концентрация нефтепродуктов в водоемах с водорослями снижалась на 1-5%.

Список литературы

1. Болсуновский А.Я., Медведева М.Ю., Александрова Ю.В. Интенсивность накопления радионуклидов в биомассе водных растений реки Енисей // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – № 1(4). – С. 778-779.
2. Донской С.Е. Выступление на заседании правительственной комиссии в 2014 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://tek.securitymedia.ru/publication_one_30.html (дата обращения: 10.07.2016).
3. Король В.М. Реагирование водных растений на химическое загрязнение воды: Автореф. дис. канд. биол. наук. – М., 1985. – 16 с.
4. Отчет о выполнении пилотного проекта «Очистка арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей» в рамках реализации проекта «Российская Федерация – Поддержка Национального плана действий по защите арктической морской среды» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://npa-arctic.iwlearn.org/Documents/demos/old/b_algae_fin_ru.pdf (дата обращения: 10.07.2016).
5. Патент РФ №2375315, 21.02.2007. Воскобойников Г.М., Коробков В.А., Макаров М.В. Способ очистки морских прибрежных вод от пленочных и диспергированных в поверхностном слое воды нефтепродуктов.
6. Патент №2412913, 27.02.2011 Иванов М.Н., Нетрусов А.И., Семенов А.М., Семенова Е.В., Шеляков О.В., Кирпичников М.П. Способ очистки воды от нефти и нефтепродуктов.
7. Степаньян О. В., Воскобойников Г. М. Влияние нефти и нефтепродуктов на морфофункциональные особенности морских макроводорослей // Биология моря. – 2006. – Том 32. – № 4. С. 241–248.
8. Степаньян О.В. Морфо-функциональные перестройки у водорослей-макрофитов Баренцева моря под воздействием нефти и нефтепродуктов: Автореф. дис. канд. биол. наук. – Мурманск, 2003 – 18 с.
9. Lange W.J., Botha A.M., Oberholster P.J. Towards tradable permits for filamentous green algae pollution // Journal of Environmental Management. - 2016. – Vol. 179. – 1. – P. 21-30.
10. Reed D.C., Lewis R.J., Anghera M. Effects of an open-coast oilproduction outfall on patterns of giant kelp (*Macrocystis pyrifera*) recruitment // Mar. Biol. 1994. – Vol. 120. – no. 1. – P. 25–31.