

УДК 504

DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-1-264-276

ВОДЯНОЙ ГИАЦИНТ – ЕСТЕСТВЕННЫЙ ВОДООЧИСТИТЕЛЬ

Светлана Арсеньевна Степанова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (913)795-97-03, e-mail: svetlana.himiya@mail.ru

Галина Вячеславна Симонова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (913)724-67-47, e-mail: simgal@list.ru

В связи с усиливающейся техногенной нагрузкой на запасы природной воды особое внимание уделяется способам ее очистки. Известные технические способы очистки не справляются с данной задачей, кроме того, они сами иногда вносят дополнительные загрязнения. Этими вопросами обеспокоены даже области, богатые природными водными запасами. В последнее время уделяется большое внимание природным возможностям очистки водной среды, в частности различным растениям, способным выполнять роль природных очистителей. Одним из наиболее перспективных природных очистителей признан один из видов эйхорнии – водяной гиацинт (*Eichhorniacrassipes*).

Целью данной работы является оценка возможности использования эйхорнии в качестве очистителя сточных вод и исследование динамики этого процесса.

Результатом исследования естественных способностей эйхорнии очищать воду стало определение динамики изменения концентрации наиболее часто встречающихся органических загрязнителей, таких как нефть, стиральный порошок, а также ацетон, фенол и формальдегид.

Представленные результаты хорошо согласуются с известными научными публикациями и уточняют особенности процесса очистки воды в разных условиях.

На основании результатов этих исследований выявлены способности водяного гиацинта очищать воду даже при концентрациях примесей 50 мг/дм³, что значительно превышает концентрации, предлагаемые другими авторами. Показано, что изменение массовой доли примесей в процессе очистки существенно зависит от вида примесей.

Полученные результаты могут быть использованы для внедрения данного процесса в работы по очистке природных водных запасов от техногенных загрязнителей в промышленных масштабах.

Ключевые слова: природные воды, загрязнение органическими веществами, очистка природными водоочистителями, эйхорния (водяной гиацинт), хроматографический анализ.

Введение

На планете Земля огромные запасы воды, три четверти поверхности планеты покрыты водой. Однако 97 % водных запасов – это соленая вода морей и океанов, и лишь 0,6 % земных запасов воды – пресная вода рек и озер. На хозяйственные и бытовые нужды расходуется такое огромное количество пресной воды, что по поводу катастрофического истощения ее запасов бьют тревогу даже районы, богатые водными ресурсами [1, 2].

Город Новосибирск и вся Новосибирская область относятся к хорошо обводненным районам. Государственный мониторинг водных ресурсов Новосибирска и области показывает не только значительные объемы использования водных ресурсов, но их существенное загрязнение.

В табл. 1 приведен объем сброса сточной воды в поверхностные водоемы Новосибирска по данным территориального органа государственной статистики Новосибирской области за 2015 г. [3].

Таблица 1

Объем сброса сточных вод (в миллионах кубических метров)
в природные водоемы г. Новосибирска

Сброшено сточных вод 10^6 м^3	Из них загрязненных		Сброшено нормативно-очищенных вод 10^6 м^3
	10^6 м^3	процент	
476,12	64,75	13,6	168,57

Значительный процент сброшенных без очистки сточных вод указывает на необходимость усиления внимания к этому вопросу.

Используемые в настоящее время технические способы очистки зачастую дорого стоят и не всегда могут быть применены в силу больших объемов сточных вод, а также не всегда эффективны и могут вносить дополнительные загрязнения.

Методы и материалы

В настоящее время многие специалисты сходятся во мнении, что биологические методы очистки являются наиболее перспективным направлением в этой области [4–9]. Загрязнение биосферы в результате техногенной деятельности человека в какой-то мере компенсируется естественными очистителями – растениями. Любая природная система обладает некоторым запасом возможности самоочистки.

Именно поэтому в последнее время появилось множество направлений поиска и активации этих природных механизмов. Мхи и лишайники, а также некоторые высшие растения (люцерна, горох) поглощают из воздуха угарный газ [6]. Табак извлекает из почвы металл – ксенобиотик, кадмий. Некоторые растения способны очищать загрязненную воду. Авторы [10–12] рекомендуют разрабатывать биоочистку сточных вод, загрязненных, в частности, нефтепродуктами.

Из анализа приведенных в литературных источниках сведений следует, что одним из наиболее эффективных гидрботанических водоочистителей является эйхорния (водяной гиацинт) [1]. Этот цветок, уроженец Южной Америки, очищает природную воду как от органических загрязнителей, так и от солей тяжелых металлов. Водяной гиацинт (*Eichhorniacrassipes*) – один из восьми видов растений рода понтедериевых *Eichornia*, это – травянистое растение рода полупогруженных,

с очень мощной, развитой корневой системой (рис. 1), благодаря которой растение способно утилизировать органические и неорганические загрязнители.



Рис. 1. Эйхорния (водяной гиацинт)

Все эти виды загрязнителей характерны для большинства территорий России, в том числе Новосибирска и Новосибирской области, особенно вблизи животноводческих хозяйств, транспортных магистралей, окрестностей аэропортов и т. д.

В большинстве рассмотренных работ, которые показывают возможность использования естественных очистителей, в частности эйхорнии, отсутствуют сравнительные количественные характеристики ее очистительной способности [13–19].

В данном исследовании была поставлена цель оценки динамики концентрации загрязнителей при использовании способности эйхорнии очищать природную воду от органических загрязнителей.

Для проведения исследований использовался образец воды, загрязненной органикой: фенолом, ацетоном, формальдегидом, а также часто встречающимися загрязнителями, такими как нефть и стиральный порошок.

Очистка загрязненной воды осуществлялась с помощью эйхорнии (водяного гиацинта), помещенного в сосуд емкостью пять литров. На литр воды было добавлено по 50 мг органических загрязнителей.

Концентрации примесей в образцах воды исследовались на газовом хроматографе Shimadzu GCMS2010.

Результаты и обсуждение

На рисунке (рис. 2, а) приведена хроматограмма исходного образца воды с заданной концентрацией примесей, а также (рис. 2, б) аналогичная зависимость для образца воды, прошедшего очистку с помощью эйхорнии в течение десяти дней.

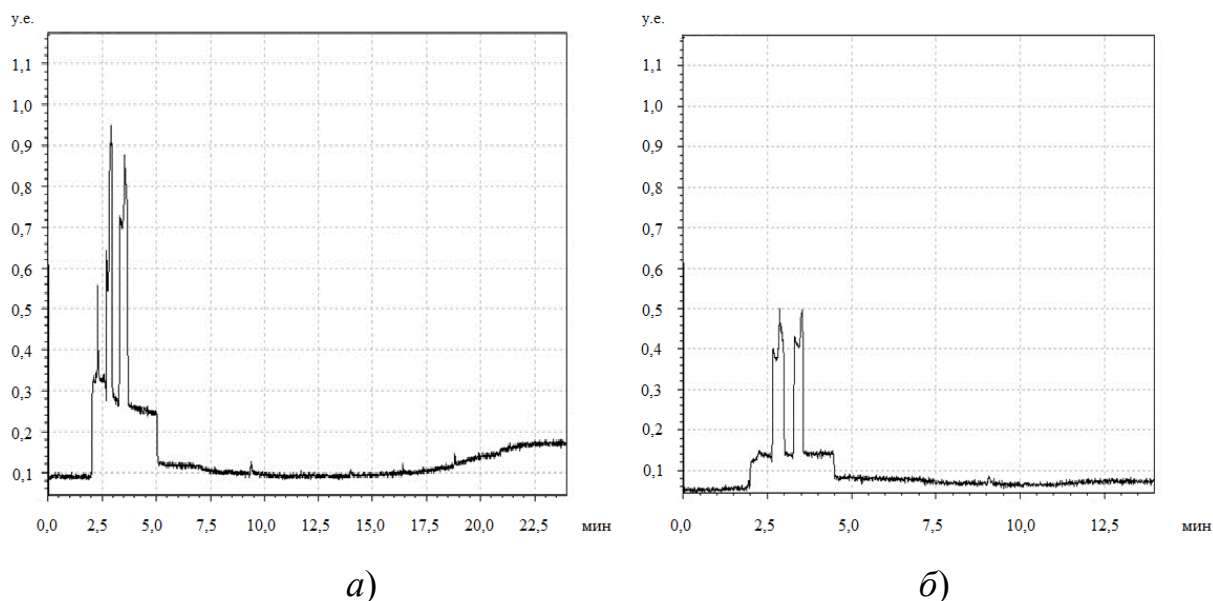


Рис. 2. Хроматограммы:
 а) исходный образец; б) очищенный образец

В табл. 2 приведены результаты обработки хроматограмм, представленных на графиках (см. рис. 2).

Таблица 2

Результаты обработки хроматограмм

Примеси	Исходная концентрация, мг/дм ³	Площадь пика, соответствующая исходной концентрации в у. е. хроматографа	Площадь пика, соответствующая концентрации после 10 дней очистки в у. е. хроматографа	Процент остаточной примеси
Фенол	50	0,180	0,02	11
Ацетон	50	0,198	0,84	42
Формальдегид	50	0,560	0,27	48

На графике (см. рис. 2, а) присутствуют характерные пики, соответствующие разным фракциям примесей. Пик, предшествующий во времени 2,0 мин, соответствует фенолу. Пик, появившийся во времени 2,0÷2,5 мин, – ацетону. Концентрация ацетона, определенная по площади пика, равна 46 мг/дм³. Во временном интервале 2,5–5,0 мин появляется пик формальдегида, концентрация которого также несколько ниже введенной.

Следует отметить, что в образец воды были добавлены летучие органические загрязнители, которые в силу своей фугитивности стремятся перейти из жидкой фазы в газообразную. Очевидно, именно летучестью введенных загрязнителей следует объяснить обнаруженную в исходном образце меньшую их концентрацию, чем было введено в пробу.

На хроматограмме (см. рис. 2, б) все виды загрязнителей значительно уменьшили свою концентрацию, концентрация фенола составила 11 %, концентрация ацетона составила 42 %, а формальдегида – 48 %.

Полученный результат показывает, что очистка воды в течение десяти дней от данных загрязнителей с помощью эйхорнии существенно снижает концентрацию примесей органических загрязнителей. Однако используемые в эксперименте загрязнители обладают высокой летучестью, поэтому трудно соотнести влияние эйхорнии и естественного удаления этих загрязнителей из жидкой фазы.

Исходя из этого, следующие образцы воды были загрязнены нелетучими, часто встречающимися веществами (нефтью и стиральным порошком): образец 1 – нефтью, в образец 2 был введен стиральный порошок, в состав которого входят 15–30 % фосфатов, 5–15 % анионных поверхностно активных веществ (ПАВ), <5 % неионогенных и катионных ПАВ, которые являются наиболее опасной составляющей моющих органических средств.

В работе [11] указывается, что максимальное загрязнение воды нефтью не должно превышать 25 мг/дм^3 . Но поскольку реальное техногенное загрязнение природной воды нефтью, как и другими соединениями, вполне может превысить этот предел [10], в данной работе ввели в образец воды удвоенное количество нефти (50 мг/дм^3). На рис. 3 приведена хроматограмма образца исходной воды, загрязненной нефтью.

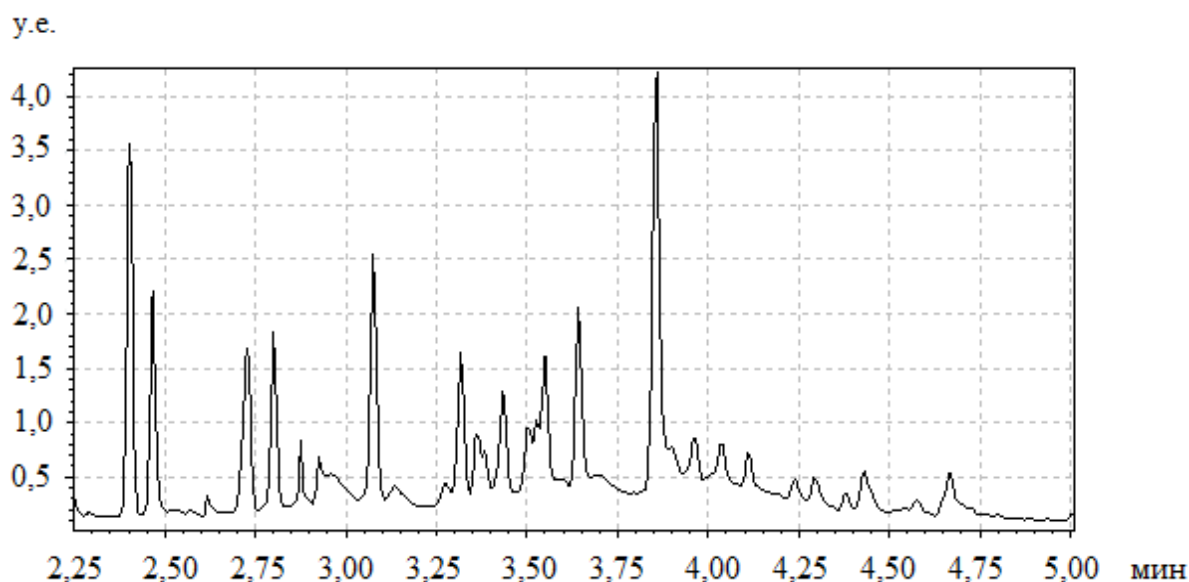


Рис. 3. Хроматограмма исходного раствора нефти

Самые интенсивные пики, наблюдаемые во времени 2,3 и 3,8 мин, соответствуют характерным компонентам нефти – изопентану и метилциклогексану. Остальное наблюдаемое распределение пиков хроматограммы соответствует компонентам сложного состава нефти.

При определении изменения концентрации примесей использовалась относительная интенсивность изменения амплитуды пиков, поскольку временной интервал выхода компонентов имеет малую ширину и практически не изменяется в процессе проведения эксперимента. Кроме этого, для общей оценки очистки образца использовалось среднее значение интенсивности пиков в характерном для нефти временном интервале.

Использование различных биоочистителей, в том числе и эйхорнии, в последнее время вызывает широкий интерес со стороны исследователей, более того, активизация очистительных способностей данного растения защищена патентом [11].

В работе [11] обсуждается процесс очистки воды от нефти при исходном загрязнении воды нефтью соответствующей концентрации 15 мг/дм^3 . Показано, что через 5 дней очистки с помощью эйхорнии в воде осталось 17 % исходной нефти.

На рис. 4 приведены хроматограммы результатов экспериментов при очистке воды от двух видов загрязнителей, имеющих нелетучий характер: нефти и стирального порошка с увеличенной исходной концентрацией, как было указано выше, полученные в одних и тех же условиях на газовом хроматографе Shimadzu GCMS 2010.

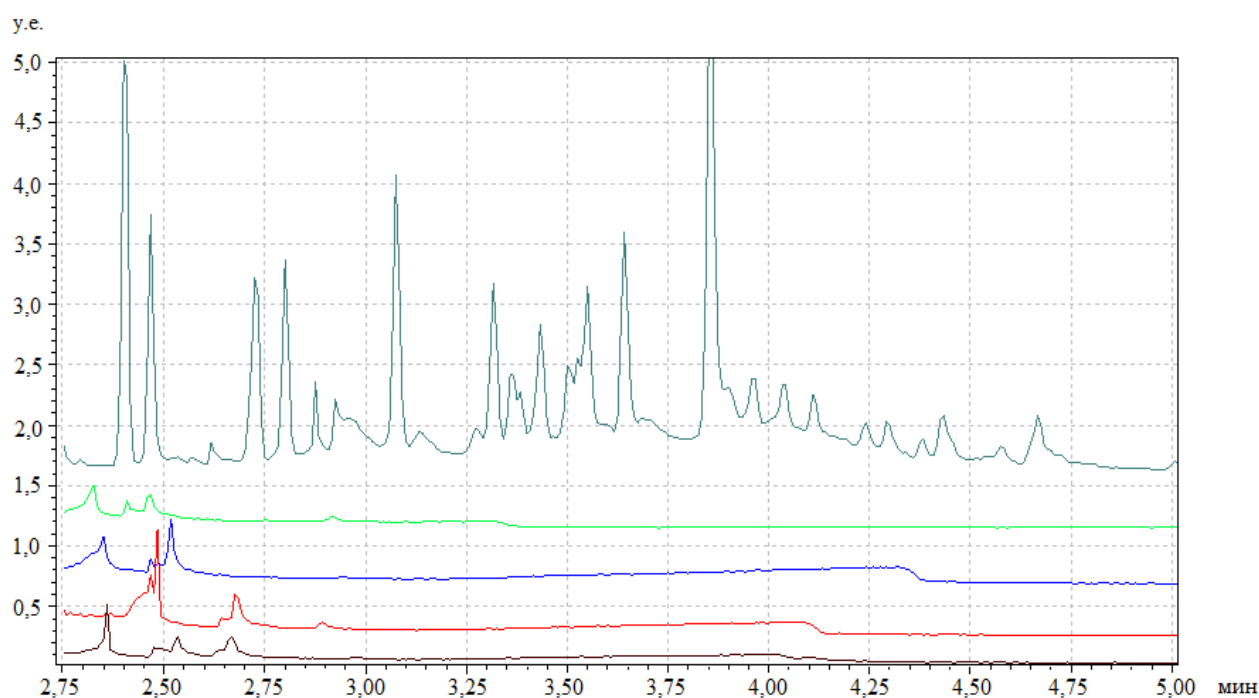


Рис. 4. Хроматограммы водных растворов нефти и стирального порошка в разные промежутки времени.

Цвет графиков: красный – исходный раствор (стиральный порошок); коричневый – полученный раствор (стиральный порошок после 10 дней); серый – исходный раствор (нефть); зеленый – полученный раствор (нефть после 10 дней); синий – полученный раствор (нефть после 20 дней)

Таблица 3

Сравнительные оценки изменения содержания загрязнителей

Тип загрязнителя	Интенсивность пиков хроматограммы для исходной концентрации в у. е. хроматографа		Интенсивность пиков хроматограммы после очистки в течение 10 дней		Интенсивность пиков хроматограммы после очистки в течение 20 дней	
			у. е.	%	у. е.	%
Нефть	изопентан	5,0	1,35	27,0	0,75	15,0
	метилциклогексан	6,4	1,20	18,6	0,80	12,4
Стиральный порошок	ПАВ	0,6	0,20	30,0	–	–

Полученные зависимости показывают существенное изменение концентрации примесей в исследуемых образцах.

Меньшая интенсивность графиков зависимостей для раствора с примесью стирального порошка по сравнению с нефтью при одинаковой исходной концентрации обусловлена тем, что выявленные на хроматограмме компоненты соответствуют только части стирального порошка – ПАВ, которые являются наиболее опасной составляющей при загрязнении природных систем, в первую очередь воды.

В табл. 3 приведены сравнительные оценки изменения содержания загрязнителей по отношению к исходному, представлены данные по изменению в результате очистки эйхорнией основных компонентов нефти и стирального порошка. Но и нефть, и порошок, имеют сложные составы, и все их компоненты в какой-то мере являются загрязнителями. На основании анализа хроматограммы на рис. 4 также наблюдается снижение концентрации всех компонентов присутствующих в растворе загрязнителей [10].

Массовая доля оценивалась по изменению среднего значения интенсивности для всего временного промежутка выхода вещества.

Изменение концентрации стирального порошка в воде за временной промежуток 20 дней оценить затруднительно в силу значительного падения измерительного сигнала, что обусловлено существенным уменьшением концентрации загрязнителя в исследуемом растворе.

Некоторое смещение характерных пиков графиков хроматограмм на рис. 4 обусловлено совмещением результатов измерений, полученных в разных процессах.

В табл. 4 приведены исходные концентрации загрязнителей – нефти и стирального порошка и их содержание в исследуемых образцах воды после десяти и двадцатидневной очистки эйхорнией.

Очистка природной воды необходима для ее сохранности. Этот аспект в настоящее время на слуху у всех. Но есть еще одна причина необходимости очистки воды от органических примесей.

Таблица 4

Исходные концентрации загрязнителей

Тип загрязнителя	Концентрация, мг/дм ³	Концентрация, мг/дм ³	Относительная массовая доля, %	Концентрация, мг/дм ³	Относительная массовая доля, %
Нефть	50	26,0	52	16,3	32,6
Стиральный порошок	50	12,5	20	–	–

Природная вода способна к самоочищению. Элементы, составляющие органическое вещество, в присутствии аэробных бактерий окисляются растворенным в воде кислородом до более простых соединений – CO₂, H₂O и других аналогичных соединений. В результате содержание кислорода в воде понижается до такого уровня, что дальнейшее окисление невозможно, и начинается восстановление в присутствии анаэробных бактерий. Образуются газы: CH₄, NH₃, H₂S, PH₃. В силу своей фугитивности газы из жидкой фазы переходят в воздух, отравляя его. В источнике с низким содержанием кислорода гибнут рыбы, ракообразные, перерождается водная растительность. В результате озеро или участок реки начинают превращаться в болото [4, 20, 21].

Заключение

Полученные результаты и их анализ позволяют сделать вывод, что с помощью эйхорнии можно надежно очищать воду от органических загрязнителей. Если летучие загрязнители уже через 10 дней практически отсутствуют в воде, то нелетучие загрязнители требуют более длительного времени для очистки – около 20 дней. В условиях выполнения данной работы через 14–15 дней началось увядание эйхорнии и, следовательно, начала понижаться ее очищающая способность. Очевидно, данное растение хорошо себя чувствует в больших водоемах, а в 5-6-литровых сосудах быстро погибает. Отсюда напрашивается вывод, что в больших водоемах эйхорния обладает большей очистительной способностью.

С начала XXI в. многие исследователи обращали внимание на эту разновидность эйхорнии – водяной гиацинт. Проблема использования эйхорнии состоит в том, что это теплолюбивое южно-американское растение.

Некоторые зарубежные авторы [22–24] отмечают, что водяной гиацинт представляет собой серьезную экологическую и экономическую проблемы во многих районах мира с субтропическим или тропическим климатом.

Водяной гиацинт формирует плотные циновки, которые препятствуют навигации и производству электроэнергии, а также затрудняют доступ воздуха к воде, обедняя ее кислородом.

В условиях Сибири, в частности, в Новосибирской области, с наступлением осенних холодов и уменьшением солнечного света эйхорния погибает, исключая тем самым указанные проблемы. Но возникает проблема, связанная с сохранением ее генофонда, что достаточно сложно в условиях холодного климата и значительно удорожает применение эйхорнии.

В силу этого предприятия предпочитают загрязнять водоемы, платя за это штрафы, а не очищать их с помощью безвредного природного очистителя. Мысль о том, что вода – невосполнимое уникальное богатство, отходит на второй план.

Новосибирский институт цитологии и генетики уже много лет занимается проблемой семенного выращивания эйхорнии, что должно значительно удешевить применение этого растения. Кроме того, как показала многолетняя практика, внедрение методов очистки водоемов с помощью безвредного природного очистителя – эйхорнии – имеет дополнительную выгоду, так как выросшая зеленая масса после сбора может быть использована на корм животным и птицам, для изготовления бумаги, биоудобрений, а также переработки в биогаз и жидкое топливо [15,17, 24].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чачина С. Б. Использование высших водных растений: эйхорнии, ряски малой и валлиснерии спиралевидной для доочистки сточных вод ОАО «Газпромнефть–ОНПЗ» // Вестник ОмГТУ. – 2011. – № 1 (104). – С. 36–41.
2. Калайда М. Л., Хамитова М. Ф. Гидробиология. – СПб. : Проспект науки, 2013. – 192 с.
3. Охрана окружающей среды в России [Электронный ресурс]. – Доступ из раздела «Официальная статистика» на официальном Интернет-портале Росстата (<http://www.gks.ru>).
4. Исидоров В. А. Экологическая химия. – СПб. : Химиздат, 2001. – 304 с.
5. Калайда М. Л. Устройство биоплато на озере Средний Кабан как биологический метод очистки вод // Экология Татарстана. – 2012. – № 4. – С. 26–30.
6. Свидетельство о регистрации электронного ресурса 2013616359. Компьютерная программа моделирования работы водоочистного сооружения с использованием высшей водной растительности «БИОПЛАТО», дата лицензии 04.07.2013 / Калайда М. Л., Борисова С. Д., Хамитова М. Ф. Петров А. В. – 2013.
7. Джакупова И. Б., Султангазиева Г. С., Божбанов А. Ж. Биологический метод очистки сточных вод // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 1 (17). – С. 113–117.
8. Петраш Е. П. Биологическая очистка сточных вод с использованием водной растительности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ieek.timacad.ru/science/1/sb-08/sb-08_1_89.pdf.
9. Раимбеков К. Т. Биологическая очистка сточных вод животноводческих комплексов с использованием высших водных растений // Химия и биология : электрон. научн. журн. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://7universum.cjv.ru/nature/archive/item/4456>.
10. Ехлаков Ю. П., Перемитина Т. О. Методы и оценка экологического риска при добыче и транспортировки нефти // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 2. – С. 175–178.

11. Патент РФ 2259961. Способ очистки стоков и воды водоемов от токсикантов. Заявители Кручинин Николай Александрович, Дмитриев Александр Геннадьевич; подача заявки: 2004-08-31, публикация патента: 10.09.2005 / Дмитриев А. Г., Кручинин Н. А., Сокол К. А., Николаева Г. М., Кондратьев В. А. – 2005.
12. Середа Т. Г., Варников В. П. Биологическая очистка водоемов // Наука и жизнь. – 2002. – № 7 – С. 16–24.
13. Калайда М. Л., Хамитова М. Ф. Возможности применения эйхорнии в доочистке вод целлюлознобумажного комбината. Особенности химического состава *Eichhorniacrassipes* // Бутлеровские сообщения. – 2015. – Т. 44, № 11. – С. 113–121.
14. Минаева О. М., Акимова Е. Е., Минаев К. М. Поглощение ряда тяжелых металлов из водных растворов растениями водного гиацинта // Вестник ТГУ. – 2009. – № 4 (8). – С. 106–112.
15. Рыженко Б. Ф. Эйхорния [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ecoposelok.narod.ru/eihorn.html>.
16. Семенов М. Ю. Биологическая очистка поверхностных сточных вод от органических загрязнений и соединений азота: дис. канд. техн. наук : 05.23.04. – М., 2007. – 134 с.
17. Флюрик Е. А., Абрамович О. В., Змитрович А. А. Использование *Eichhorniacrassipes* для очистки сточных вод и получения кормовой добавки // Химия и технология органических веществ и биотехнология. – 2014. – № 4. – С. 155–160.
18. Хлебникова Е. П., Симонов Д. П. Исследование возможности использования цифровых снимков высокого разрешения для определения отражательных характеристик растительности // Интерэкспо Гео-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля). Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 64–69.
19. Эйхорния – чудо-растение, очищающее сточные воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://a-forester.livejournal.com/35721.html>.
20. Воробьева Л. Б., Степанова С. А. Физико-химические процессы в техносфере. – Новосибирск : СГГА, 2008. – 114 с.
21. Садовникова Л. К. Экология и охрана окружающей среды при химическом загрязнении. – М. : Высш. шк., 2006. – 334 с.
22. Chai T. T, Ngoi J. C, Wong F. C. Herbicidal potential of *Eichhornia crassipes* leaf extract against *Mimosa pigra* and *Vigna radiata* // International Journal of Agriculture and Biology. – 2013. – Vol. 15, No. 5. – P. 835–842.
23. Non-native Invasive Freshwater Plants – Technical Information [Электронный ресурс] : Washington State Department of Ecology. Archived from the original on 2017-11-15. Retrieved 21 November 2017. – Режим доступа: <http://plants.ifas.ufl.edu/manage/why-manage-plants>.
24. Achenyo Idachaba. How I turned a deadly plant into a thriving business // TED, May 27-29. – Monterey, California, 2015.

Получено 16.01.2019

© С. А. Степанова, Г. В. Симонова, 2019

WATER HYACINTH IS A NATURAL WATER PURIFIER

Svetlana A. Stepanova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Special Devices, Innovation and Metrology, phone: (913)795-97-03, e-mail: svetlana.himiya@mail.ru

Galina V. Simonova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Special Devices, Innovation and Metrology, phone: (913)724-67-47, e-mail: simgal@list.ru.

Due to the increasing anthropogenic load on the supply of natural water, special attention is paid to its methods of purification. Known technical methods of cleaning do not cope with this task. In addition, they themselves sometimes make additional pollution. These issues are of concern to the regions rich in natural water resources. Recently, much attention is paid to the natural possibilities of water purification, in particular, various plants that can perform the role of natural cleaners. One of the types of Eichhornia – water hyacinth (*Eichhorniacrassipes*) is acknowledged, as one of the most promising natural cleaners.

The aim of this work is to assess the possibility of using Eichhornia as a wastewater treatment plant and to study the dynamics of this process.

The result of the study of eichornia natural abilities for water purification determined the evolution of the most common organic pollutants concentration such as oil, washing powder, and also acetone, phenol and formaldehyde.

The presented results are in good agreement with the known scientific data and clarify the features of the purification process in different conditions.

Based on the results of these studies, the ability of water hyacinth to perform cleaning even at impurity concentrations of 50 mg/dm³ was reseeded, which significantly exceeds the concentrations proposed by other authors. The change in mass fraction of impurities in the purification process depends significantly on the type of impurities was shown.

The obtained results can be used for this process introduction in the works on the natural water reserves purification from man-made effects.

Key words: natural waters, pollution by organic substances, cleaning by natural water purifiers, eichornia (water hyacinth), chromatographic analysis.

REFERENCES

1. Chachina, S. B. (2011). The using of higher water plants: eyhornii, duckweed and eel spiral for purification of waste water of OJSC "Gazpromneft–ONPZ". *Vestnik OmGTU [Omsk Scientific Bulletin]*, 1(104), 36-41 [in Russian].
2. Kalaida, M. L., & Khamitova, M. F. (2013). *Gidrobiologiya [Hydrobiology]*. St. Petersburg: Prospekt nauki Publ., 192 p. [in Russian].
3. Environmental protection in Russia. (n. d.). Access from the section "Official statistics" on the official Internet portal of Rosstat. Retrieved from <http://www.gks.ru> [in Russian].
4. Isidorov, V. (2001). *Environmental chemistry [Ehkologicheskaya himiya]*. St. Petersburg: Khimizdat Publ., 304 p. [in Russian].
5. Kalaida, M. L. (2012). Create a bio plateau on the Middle Kaban lake as a biological method of water purification. *Ehkologiya Tatarstana [Ecology of Tatarstan]*, 4, 26–30 [in Russian].
6. Kalaida, M. L., Borisova, S. D., Khamitov, M. F., & Petrov, A. V. (2013). Registration certificate of electronic resource 2013616359. Computer program for simulation of water treatment plant with the use of higher aquatic vegetation "Bio plateau", the date of the license 04.07.2013 [in Russian].
7. Dzhakupov, I. B., Sultangazieva, G. S., & Bazhanov, A. J. (2014). Biological method of wastewater treatment of the XXI century: the results of the past and the problems of the present. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego [XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present Plus]*, 1(17), 113–117 [in Russian].

8. Petrash, E. P. (n. d.). Biological wastewater treatment using aquatic vegetation. Retrieved from http://ieek.timacad.ru/science/1/sb-08/sb-08_1_89.pdf [in Russian].
9. Raymbekov, K. T. (n. d.). Biological treatment of sewage of cattle-breeding complexes with the use of higher water plants. *Himiya i biologiya [Chemistry and Biology]*. Retrieved from <http://7universum.cjv.ru/nature/archive/item/4456> [in Russian].
10. Ekhlakov, P. O., & Peremitina, T. O. (2016). Methods and environmental risk assessment in production and transportation oil. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2016: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 2. Distancionnye metody zondirovaniya zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchej sredy, geoekologiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2016: International Scientific Conference: Vol. 2. Remote Sensing of the Earth and Photogrammetry, Environmental Monitoring, Geoecology]* (pp. 175–178). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
11. Dmitriev, A. G., Kruchinin, N. A., Sokol, K. A., Nikolaeva, G. M., & Kondrat'ev, V. A. (2005). Patent RF 2259961. IP Russian Federation [in Russian].
12. Sereda, T. G., & Varennikov, V. P. (2002). Biological purification of water reservoirs. *Nauka i zhizn' [Science and Life]*, 7, 16–24 [in Russian].
13. Kalaida, M. L., & Khamitova, M. F. (2015). Possible applications Eyhornii additional cleaning of the waters of pulp and paper mill. Features of the chemical composition of *Eichhornia crassipes*. *Butlerovskie soobshcheniya [Butlerov Communication]*, 44(11), 113–121 [in Russian].
14. Minaeva, O. M., Akimova, E. E., & Minaev, K. M. (2009). Absorption of a number of heavy metals from aqueous solutions by plants of aqueous hyacinth. *Vestnik TGU [Tomsk State University Journal]*, 4(8), 106–112 [in Russian].
15. Ryzhenko, B. F. (n. d.). Eyhorniya. Retrieved from <http://ecoposelok.narod.ru/eihorn.html> [in Russian].
16. Semenov, M. Y. (2007). Biological treatment of surface waste waters from organic contaminants and nitrogen compounds. *Candidate's thesis*. Moscow, 134 p. [in Russian].
17. Flyurik, E. A., Abramovich, O. V., & Zmitrovich, A. (2014). The using of *Eichhornia crassipes* for wastewater treatment and feed additive production. *Himiya i tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya [Chemistry and Technology of Organic Substances and Biotechnology]*, 4, 155–160 [in Russian].
18. Khlebnikova E. P., Simonov D. P. (2013). Investigation the possibility of using high-resolution digital images to determine the reflective characteristics of growth. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Distancionnye metody zondirovaniya zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchej sredy, geoekologiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: International Scientific Conference: Vol. 1. Remote Sensing of the Earth and Photogrammetry, Environmental Monitoring, Geoecology]* (pp. 64–69). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
19. *Eichornia is a miracle plant that purifies waste water* (n. d.). Retrieved from <https://aforester.livejournal.com/35721.html>.
20. Vorobieva, L. B., Stepanova, S. A. (2008). *Fiziko-himicheskie processy v tekhnosfere [Physical and chemical processes in the technosphere]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 114 p. [in Russian].
21. Sadovnikova, L. K. (2006). *Ehkologiya i ohrana okruzhayushchej sredy pri himicheskom zagryaznenii [Ecology and environmental protection in chemical pollution]*. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 334 p. [in Russian].
22. Chai, T. T, Ngoi, J. C, & Wong, F. C (2013). Herbicidal potential of *Eichhornia crassipes* leaf extract against *Mimosa pigra* and *Vigna radiate*. *International Journal of Agriculture and Biology*, 15(5), 835–842.

23. Non-native Invasive Freshwater Plants – Technical Information. (2017). Washington State Department of Ecology. Archived from the original on 2017-11-15. Retrieved from <http://plants.ifas.ufl.edu/manage/why-manage-plants>.

24. Achenyo Idachaba. (2015). How I turned a deadly plant into a thriving business. *TED*, May 27–29. Monterey, California.

Received 16.01.2019

© S. A. Stepanova, G. V. Simonova, 2019