

## Очистка воды от загрязнений водными растениями

© Лапин<sup>1\*</sup> Анатолий Андреевич, Потапов<sup>2</sup> Вадим Владимирович,  
Калайда<sup>1</sup> Марина Львовна, Мурадов<sup>2</sup> Сергей Васильевич  
и Зеленков<sup>3</sup> Валерий Николаевич

<sup>1</sup> Кафедра “Водные биоресурсы и аквакультура”. Казанский государственный энергетический университет.  
Ул. Красносельская, 51. г. Казань, 420066. Республика Татарстан. Россия.

Тел.: (843) 519-43-53. E-mail: lapinanatol@mail.ru

<sup>2</sup> Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук. г. Петропавловск-Камчатский. Россия

<sup>3</sup> Отделение «Физико-химическая биология и инновации» Российской академии естественных наук, г. Москва. Россия.

\*Ведущий направление; +Поддерживающий переписку

**Ключевые слова:** суммарная антиоксидантная активность, ростостимулирующий эффект, тяжелые металлы, водоросли-макрофиты, водные и спиртовые экстракты водорослей.

### Аннотация

Выявлена разная сорбционная емкость поглощения тяжелых металлов водорослями-макрофитами в условиях опытно-экспериментальной системы биологической очистки вод Авачинской губы, что характеризует селективные процессы связывания металлов полисахаридами клеточных стенок водорослей. Изучено влияние загрязнений водоемов на антиоксидантные свойства водорослей – макрофитов и ростостимулирующий эффект их водных экстрактов при действии на хлореллу. Повышение загрязненности воды и контрольная обработка водного растения *Elodea canadensis* L. водным раствором токсиканта – сульфата кадмия, показало увеличение их антиоксидантной активности по сравнению с контрольными образцами.

### Введение

Как известно, интенсивно эксплуатируемые пруды, расположенные в зоне сельскохозяйственного производства, магистральных дорог часто переходят в категорию загрязненных. Для них характерны нарушение гидрохимического режима воды, накопление значительной массы фитопланктона и увеличение органического загрязнения, накопление тяжелых металлов. В таких водоемах нарушается технология выращивания рыбы, часто отмечаются замедление ее роста, болезни и гибель.

В таких условиях актуальным становится мониторинг экологического состояния вод рыбководных хозяйств. Кроме постоянного контроля за содержанием токсикантов в водах, необходимо проведение мероприятий для очистки акватории с целью уменьшения антропогенного воздействия на биоту. Наиболее практичным и современным способом очистки вод от загрязнения представляется биологическая очистка с помощью водорослей-макрофитов (ВМ) [1-2].

Необходимость разработки санитарных плантаций при очистке вод связана с тем, что в настоящее время прибрежные воды России не только все чаще становятся местом добычи, перегрузки, переработки, а также транспортировки руд, газоконденсата, нефти и нефтепродуктов, но и зонами загрязнения промышленными, бытовыми и сельскохозяйственными стоками, делающими их не способными к природному самоочищению, усиливая загрязнение прибрежных акваторий. А они являются не только зонами размножения многих видов рыб, беспозвоночных, водорослей, планктона и птиц, но и зонами отдыха населения близлежащих населенных пунктов [3].

В настоящее время предложен биогидроботанический способ очистки сточных вод. В его основе лежат биохимические процессы окисления, фильтрования, поглощения, накопления органических и неорганических веществ, минерализации, детоксикации, адсорбции, хе-

сорбции и другие. Высокий очистительный эффект достигается там, где вода протекает через сообщество полупогруженных, плавающих и погруженных в воду растений.

Имеющаяся на поверхности растений слизь (перифитон), а также снижение скорости течения жидкости в зонах зарастания способствует осаждению взвешенных веществ органического и минерального происхождения, что повышает прозрачность воды [4].

Высшие водные растения (ВВР) способны осуществлять детоксикацию различных вредных веществ, сбрасываемых в водоем. Она поглощает пестициды – севин, атразин. Поглощенные ВВР токсичные вещества инактивируются, претерпевая разнообразные химические превращения.

В результате сорбции биогенных веществ и насыщения воды водоема растворенным кислородом, выделяемым высшей водной растительностью в процессе жизнедеятельности, ВМ позволяют предотвратить «цветение» водоемов. Корневая система ВВР выделяет вещества бактерицидного действия – фитонциды, в результате чего происходит обеззараживание водоемов.

Таким образом, микроэлементный состав ВВР тесно связан с составом субстрата, на котором они произрастают, растительные организмы не только сами приспосабливаются к физической среде, но и своей деятельностью приспосабливают геохимическую среду к своим биологическим потребностям.

За рубежом, в практике эксплуатации малых очистных сооружений, для удаления биогенных элементов наряду с прудами с ВВР применяются искусственные участки обводненных земель с высаженными на них растениями – так называемые «wetland», корни растений пронизывают загрузку (как правило, гравий), через которую сплошным потоком движется очищаемая вода.

Эти участки в отечественной практике называют биоплато. При использовании биоплато в северных странах, несмотря на снижение его эффективности из-за низких температур и образования льда, оно успешно эксплуатируется в Канаде (67 сооружений), Дании (130), Швеции и Норвегии (71), Чехии (28), и СНГ (30). При обработке сточных вод в биоплато большинство органических веществ и в растворе, и в виде нерастворенных частиц разлагается до углекислого газа и воды, при этом отмечается высокая эффективность удаления биогенных элементов, токсичных металлов и патогенных микроорганизмов.

Растения ассимилируют биогенные вещества в биомассе, а в прикорневой системе создаются условия, повышающие активность биохимических реакций, то есть ВМ служат катализаторами процессов очистки [1].

Предложен способ очистки поверхностных вод в прибрежных районах моря, бухтах и других зонах возможного промышленного загрязнения нефтепродуктами путем биологической обработки воды с использованием водорослей в сочетании с микроорганизмами. Этот способ включает размещение в районе загрязнения фильтра, заполненного сорбирующей средой, заселенной нефтеокисляющими микроорганизмами, в качестве сорбирующей среды предлагается использовать плавучую водорослевую плантацию, основу которой составляет система соединенных между собой синтетических канатов, засаженных ламинарией и фукусовыми водорослями [5].

Способность ВВР к очищению вод от различных загрязнений чаще всего контролируется показателями – биологическим и химическим потреблением кислорода (БПК) и (ХПК). Во многих странах Америки довольно широко используется системы очистки шахтных вод на плантациях камыша и тростника [6]. В литературе также описаны сооружения с камышовой растительностью для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод в Нидерландах, Японии, Китае; для очистки загрязненного поверхностного стока в Норвегии, Австралии и в других странах. Стойкость камыша к действию больших концентраций загрязняющих веществ позволила довольно успешно использовать его для очистки сточных вод свиноводческих комплексов в Великобритании [7].

Очистные системы вторичной и третичной очистки бытовых сточных вод, основанные на использовании элодеи, пригодны для использования в умеренном климате, где могут круглый год удалять биогенные элементы из сточных вод [8].

По результатам промышленно-экспериментальных исследований процесса очистки бытовых сточных вод с использованием водного гиацинта в США, степень очистки по БПК<sup>5</sup> достигает 97-98% [9].

В Китае водный гиацинт используется для очистки сточных вод кинофабрики от серебра [10]. Установлено, что эффективность очистки воды от серебра, взвешенных веществ, соединений фосфора и азота, соответственно, составляла 100%, 91%, 53.9%, и 92.9%, при этом БПК и ХПК уменьшались на 98.6% и 91%. Предложенный метод позволяет отказаться от использования сорбционной очистки.

При очистке сточных вод чаще всего используют такие виды ВВР, как камыш, тростник озерный, рогоз узколистный и широколистный, рдест гребенчатый и курчавый, спироделла многокоренная, элодея, водный гиацинт (эйхорния), касатик желтый, сусак, стрелолист обычный, гречиха земноводная, резуха морская, уруть, хара, ирис и прочие.

Как показали исследования, корневая система рогоза имеет высокую аккумулялирующую способность к тяжелым металлам [11]. Концентрация металлов в корневой системе рогоза, который рос на берегах шламонакопителей тепловых электростанций, достигала (мг/кг): железа – 199.1, марганца – 159.5, меди – 3.4, цинка – 16.6.

В последние годы моря России становятся местом перегрузки и транспортировки газоконденсата, нефти и нефтепродуктов, что ведет к усилению загрязнения прибрежной акватории и оказывает губительное воздействие на морскую биоту.

Данной проблеме уделено большое внимание в Морской доктрине Российской Федерации (подраздел «Принципы национальной морской политики», раздел 3 «Обеспечение безопасности морской деятельности»): «разрешение противоречий между увеличением объемов и интенсивности добычи углеводородного сырья и других ресурсов с морского дна и необходимость сохранения, воспроизводства и добычи биоресурсов Мирового океана».

Наибольшему отрицательному воздействию нефтепродуктами подвергаются представители фауны и флоры, обитающие в прибрежной полосе, где концентрация загрязнителей наиболее высокая, именно эта зона является местом размножения, раннего развития для многих рыб, беспозвоночных, водорослей [12].

Существующие в настоящее время способы борьбы с загрязнениями акватории нефтепродуктами делятся на механические (боновые заграждения), которые препятствуют распространению нефтяного пятна и химические, способствующие разложению или коагуляции нефтепродуктов. К сожалению, химические реагенты сами в свою очередь оказывают негативное воздействие на прибрежную биоту.

Для широкомасштабной ликвидации последствий нефтяного загрязнения морских арктических вод предлагается экономически эффективная методология использования для этих целей бурых водорослей, что может способствовать уменьшению воздействия хозяйственной деятельности в России на арктические международные воды [13].

Основной экологической проблемой Черного моря является загрязнение его прибрежных акваторий (шельфа) различными поллютантами: нефтью и нефтепродуктами, детергентами, тяжелыми металлами, хлорорганическими соединениями и другие, что, как известно, является стрессовым фактором для гидробионтов.

Под влиянием загрязнителей в клетках живых организмов усиливается образование метаболически активных свободных радикалов, вызывающих повреждение компонентов клеток, такое состояние называется оксидантным стрессом [14]. Для предотвращения его возникновения в клетках существуют антиоксидантные (АО) системы как энзиматической, так и неэнзиматической природы [30].

Установлено, что у водорослей АО активностью обладает группа биополимеров: супероксиддисмутаза, каталаза, глутатионпероксидаза, глутатион-S-трансфераза. Большую роль в этом процессе играют витамины (А, С, Е) и глутатион. Считается, что реакция АО системы клеток гидробионтов на различные виды загрязнения является универсальной и ее показатели могут использоваться для контроля качества водной среды [15].

Среди черноморских ВМ в качестве биоиндикаторов предложены *Ceramium rubrum* и *Enteromorpha intestinalis*, а их биомаркерами – уровень перекисного окисления липидов. В то же время, остается не исследованной реакция водорослевых тест-объектов по некоторым

другим параметрам их АО системы. В частности, не выяснена роль в этом процессе глутатионредуктазы, как терминального фермента в цикле глутатиона и витамина Е [16].

Цель работы – изучение показателей образцов высших водных растений, позволяющие судить об экологическом аспекте накопления в них антиоксидантов под влиянием различных загрязнений вод.

### **Экспериментальная часть**

В качестве объектов исследования использовались ВМ *Sacharina bongardiana*, высушенные образцы которых были получены нами в мае 2011 г, с опытно-экспериментальной системы биологической очистки вод Авачинской губы научно-исследовательского геотехнологического центра Дальневосточного отделения Российской академии наук (г. Петропавловск-Камчатский) в рамках проведения совместных исследований. Водоросли элодеи канадской (*Elodea canadensis* L.) были приобретены в зоомагазине.

При изучении химических показателей образцов ВМ и экстрактов из них использовались методы, принятые в научных исследованиях и предусмотренные Государственной фармакопеей СССР (ГФ) XI изд. [17]. К ним относятся метод отбора растительных проб, определение содержания примесей в сырье, нормы сушки и хранения. Отбор средней пробы и аналитических проб образцов ВМ, измельчение воздушно-сухого сырья, проводили в соответствии с требованиями ГФ XI изд. [17].

Перед приготовлением экстрактов высушенные растения анализировались на содержание влаги, измельчались и просеивались до размера частиц менее 0.4 мм.

Водные экстракты из образцов ВМ приготавливали завариванием их кипящей дистиллированной водой (в соотношении 1:50 в пересчете на сухой вес образца) по ГОСТ 1936 [18] и перемешивании (15 мин.). Спиртовые экстракты из образцов ВМ готовили следующим образом: навеску помещали в посуду из темного стекла, заливали спиртом этиловым по ГОСТ Р 51652 [19] (гидромодуль 1: 10), и настаивали в темном месте в течение 14 суток с 2-3-х кратным перемешиванием в течение суток согласно ГФ XI изд. [17]. Экстракты очищались центрифугированием при 5000 об/мин (15 мин.).

При определении суммарной антиоксидантной активности (САОА) использовался кулонометрический метод анализа с помощью электрогенерированных радикалов брома на автоматизированном, сертифицированном, серийном кулонометре «*Эксперт-006-антиоксиданты*» ООО «*Эконикс-Эксперт*» г. Москва по сертифицированной нами методике [20-21]. САОА выражали в мг рутина в пересчете на 100 г абсолютно сухого образца (а.с.о.). Содержание сухих веществ и влаги в образцах определяли на влагомере *MX-50 A&D Company, Limited* (Япония), программное обеспечение которого, «*WinCT-Moisture*» позволяло нам определять оптимальную температуру сушки образцов, которая составляла 160 °С [22].

При изучении ростостимулирующего эффекта ВМ в качестве стандартного тест-объекта нами использовалась лабораторная альгологически чистая монокультура одноклеточных зеленых водорослей хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beiyer). Испытания проводились согласно методике, приведенной в Методических указаниях по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного назначения (приложение 2) [23] и по методике определения токсичности питьевых вод, отходов по измерению оптической плотности тест-культуры водорослей хлорелла [24]. Измерение оптической плотности тест-культуры проводилось на измерителе *ИПС-3*.

Измерение содержания тяжелых металлов (ТМ) (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn) в ВМ проводили атомно-абсорбционным методом на сертифицированном приборе *AAS KeaHT.Z-ЭТА*. Подготовка проб водорослей к анализу проводилась методом СВЧ-минерализации на приборе *Минотавр-2*.

Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием компьютерных программ *Microsoft Excel* и *Statistica 6.0* [25, 26].

### **Результаты и их обсуждение**

В образцах наиболее устойчивого к загрязнению вида ВМ *S. Bongardiana* были исследованы физико-химические показатели, в том числе САОА – характеристика стресса растений от загрязнений [2]. Нами исследованы образцы ВМ, отобранные 24.09.2010 г – в момент наибольшего накопления в них ТМ (табл. 1) в «грязном» месте (бухта Раковая).

Данные табл. 1 показывают, что накопление ТМ ВМ зависит от их вида. Медь и кобальт, сразу поглощаются в больших количествах (особенно медь), а кадмий, цинк и свинец имеют постепенную динамику накопления, что характеризует селективные процессы связывания металлов полисахаридами клеточных стенок ВМ.

**Табл. 1.** Изменение содержания тяжелых металлов у *S. bongardiana* из загрязненного района во времени, мг/кг абсолютно сухого образца

Металл	ПДК (мг/кг)	06.09.2010	12.09.2010	24.09.2010	14.10.2010	02.11.2010
Cd	0.5	0.31	0.43	0.52	0.50	0.39
Co	1	1.94	2.13	2.35	2.27	2.03
Cu	-	6.74	7.52	8.10	7.74	7.13
Ni	-	1.62	1.94	2.17	2.09	1.76
Pb	-	1.10	1.38	1.29	1.32	1.24
Zn	-	0.54	0.75	0.68	0.61	0.59

По данным литературы сорбционная емкость по отдельным ТМ определяется возможным количеством катионов металла, связываемого альгиновой кислотой, содержание которой в ВМ составляет от 15 до 33% сухого веса. Способность поглощать ТМ, растущими водорослями, достаточно велика, не случайно, что бурые водоросли (ламинариевые и фукусовые) в последнее время все чаще используют в качестве живых биоиндикаторов состояния морской среды в подверженных загрязнению бухтах, куда попадают стоки предприятий [27].

САОА ВМ, взятых из «грязного» (бухта Раковая) и «чистого» мест (бухта Три брата – контроль) акватории определяли кулонометрическим методом анализа их водных экстрактов. Содержание влаги в образцах водорослей из «чистого» места составляло 7.40 % масс., с «грязного места» 5.13 % масс.

В «грязном» месте ВМ имеют САОА на 209.66% отн. больше чем в «чистом», 1142.57 и 368.97 мг рутина на 100 г абсолютно сухого образца (а.с.о.) соответственно, при ошибке измерения не превышающей 7% отн. (табл. 2).

**Табл. 2.** Суммарная антиоксидантная активность образцов водорослей в мг на 100 г а.с.о. (стандарт – рутин)

Экстракты образцов водорослей макрофитов	САОА	$\Delta X$	$S_x$	S	E %, отн.
Водные экстракты					
С «грязного» места	1142.57	76.01	0.04	47.80	6.65
С «чистого» места	368.97	2.81	0.003	1.13	0.76
Спиртовые экстракты					
С «грязного» места	198.46	10.56	0.02	4.25	5.32
С «чистого» места	312.29	8.17	0.01	3.29	2.61

При изучении спиртовых экстрактов в «грязном» месте ВМ имеют САОА на 36.45% отн. меньше чем в «чистом», 198.46 и 312.29 мг рутина на 100 г абсолютно сухого образца ВМ соответственно, при ошибке измерения не превышающей 5% отн., что свидетельствует об уменьшении содержания в них фенольных соединений, хорошо экстрагируемых этиловым спиртом (табл. 2).

Антиоксидантная активность (АОА) обнаружена у представителей различных классов ВМ [28, 29], несмотря на большое количество публикаций, до сих пор остается открытым вопрос, какие вещества ВМ обладают самой высокой активностью, которая отмечена у липидных экстрактов [30].

АОА обладают фракции водных экстрактов, в которых присутствовала фукоза [31]. Были исследованы водные и водно-этанольные экстракты 11 образцов морских водорослей, в том числе взятых из Авачинского залива (бухта Бечевинская), калориметрическим методом на основе цветной реакции с дифенилпикрилгидразином и было показано, что наибольшей АОА обладают экстракты с использованием 75 и 50% водных растворов этанола.

Экстракты с самой высокой активностью были использованы для определения АОА отдельных фракций, наибольшую активность показали бутанольные и метанольные (85% водный раствор) фракции со средней полярностью [32].

При изучении особенности изменения концентрации некоторых ТМ (железо, медь, цинк, марганец) в водном растении *Elodea canadensis* L. при их содержании в производственных сточных водах, было показано, что она способна к аккумуляции ряда ТМ [33].

Для проведения сравнительных испытаний нами был проведен эксперимент по обработке элодеи раствором токсиканта – сульфата кадмия ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) в дистиллированной воде (ГОСТ 6709) [34] в течение 7 дней из расчета 2 г элодеи на 1  $\text{дм}^3$  раствора.

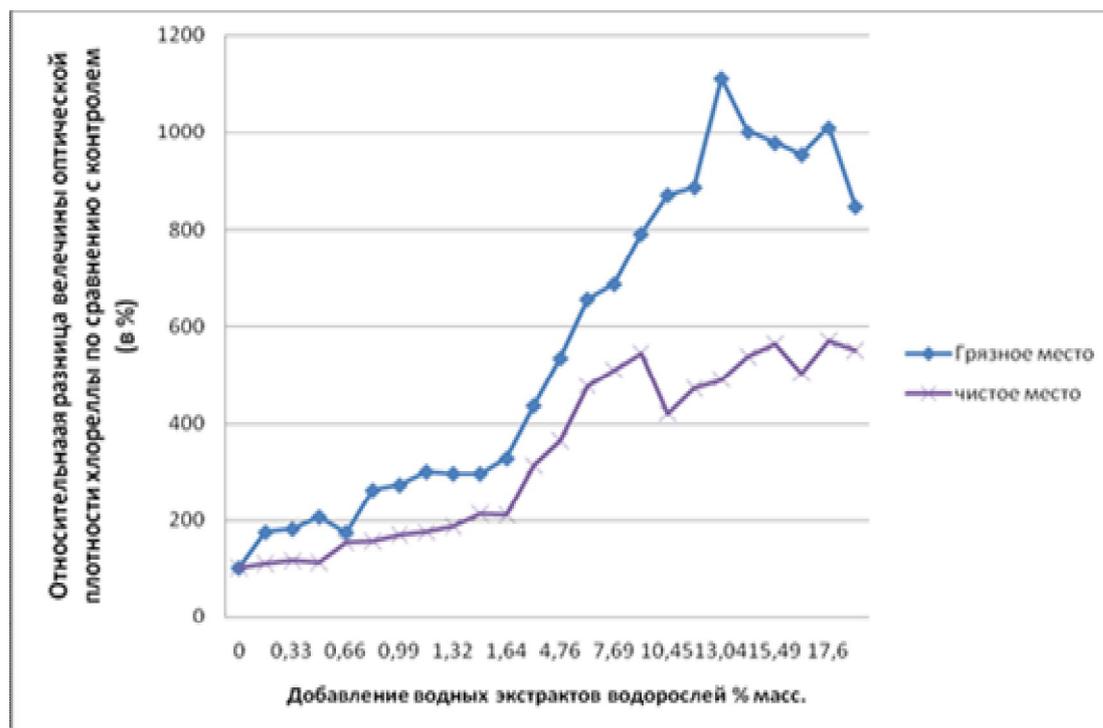


Рис. 1. Графики зависимости ростостимулирующего эффекта водных экстрактов водорослей-макрофитов *S. Bongardiana* при действии на чистую монокультуру одноклеточных зеленых водорослей хлорелла (*Chlorella vulgaris Beiyer*).

При визуальном осмотре растение не отличалось от контрольного образца, САОА образцов водорослей приведена в табл. 3. Используемая нами концентрация кадмия – 1.31  $\text{мг}/\text{дм}^3$  превышала уровень ПДК<sub>рх</sub> в 1310 раз (0.001  $\text{мг}/\text{дм}^3$ , класс опасности 2), а экстремально высокий уровень загрязненности воды по кадмию в 262 раза (0.005  $\text{мг}/\text{дм}^3$ ).

САОА элодеи, обработанной сульфатом кадмия, возросла на 149.69% отн. по сравнению с исходным значением 718.76 и 287.86  $\text{мг}$  рутина на 100 г а.с.о. соответственно, при ошибке измерения не превышающей 5% отн. (табл. 3).

Нами было найдено, что водные экстракты *ВМ S. Bongardiana*, взятых из «грязного» места обладают более высокой ростостимулирующей способностью по сравнению с водорослями из «чистого» места при действии на чистую монокультуру одноклеточных зеленых водорослей хлорелла (*Chlorella vulgaris Beiyer*) (рис. 1).

Табл. 3. Суммарная антиоксидантная активность образцов водного растения элодеи в  $\text{мг}$  на 100 г а.с.о. (стандарт – рутин)

Образцы	САОА	$\Delta X$	$S_x$	S	E %, отн.
Элодея	287.86	15.51	0.03	9.76	5.39
Элодея обработанная сульфатом кадмия	718.76	14.39	0.02	11.57	2.00

Максимальный ростостимулирующий эффект проявился при концентрации 13.04 % масс. водного экстракта *ВМ S. Bongardiana*, взятых из наиболее «загрязненного» места, при добавлении к суспензии хлореллы он на 94.88% отн. превышает максимальный ростостимулирующий эффект водного экстракта *ВМ*, взятых из «чистого» места.

## Выводы

1. При анализе экспериментальных данных выявлена разная сорбционная емкость поглощения тяжелых металлов водорослями-макрофитами в условиях опытно-эксперименталь-

ной системы биологической очистки вод Авачинской губы, что характеризует селективные процессы связывания металлов полисахаридами клеточных стенок водорослей.

2. Впервые изучено влияние загрязнений водоемов на антиоксидантные свойства водорослей – макрофитов и ростостимулирующий эффект их водных экстрактов при действии на хлореллу.
3. Загрязненность воды тяжелыми металлами и контрольная обработка водного растения *Elodea canadensis* L. водным раствором токсиканта – сульфата кадмия, показало увеличение антиоксидантной активности их водных экстрактов по сравнению с контрольными образцами. Спиртовые экстракты водорослей-макрофитов напротив, уменьшают активность под действием тяжелых металлов, что свидетельствует об уменьшении содержания в них фенольных соединений, хорошо экстрагируемых этиловым спиртом.

### Литература

- [1] Калайда М.Л., Загустина С.Д. Водные растения: Учеб. пособие. Казань.: Изд-во Казан. гос. энерг. ун-та. **2008**. С.114-116.
- [2] Хабибуллина Л.Р. Исследование физико-химических характеристик водных растений в Авачинской губе Камчатки. *Материалы докладов VII Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения», Казань, 25-27 апр. 2012 г. – Казань.: Изд-во Казан. гос. энерг. ун-та. 2012*. С.153-154.
- [3] Потапов В.В., Мурадов С.В. Метод очистки прибрежных морских вод от техногенных загрязнений с помощью санитарно водорослевой плантации. *Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: Сборник научных трудов. Под общей редакцией д.с.-х.н., профессора, академика РАН Зеленкова В.Н. Вып. 19. – М.: Изд-во РАН. 2011*. С.105-120.
- [4] Тимофеева С.С. Биотехнология обезвреживания сточных вод. *Хим. и технол. воды. 1995*. Т.17. №5. С.525-532.
- [5] Воскобойников Г.М., Коробков В.А., Макаров М.В. Способ очистки морских прибрежных вод от пленочных и диспергированных в поверхностном слое воды нефтепродуктов. *Пат. РФ № 2375315 от 21.02.2007*.
- [6] J.S. Dunbabin, K.H. Bowner. Potential use of constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters containing metals. *Sci. Total. Environ. 1992*. Vol.111. No.2/3. P.56-60.
- [7] S. Hadlington. An interesting reed. *Chem. Brit. 1991*. Vol.27. No.4. P.229.
- [8] P.L. Bishor, T. Eighmy. Tayler. Aquatic wastewater treatment using *Elodea nuttallii*. *Water Pollut. Contr. Fed. 1989*. Vol.61. No.5. P.641-663.
- [9] A.S. McAnally, J.D. Benefield. Use of constructed water hyacinth treatment systems to upgrade small flow municipal wastewater treatment. *J. Environ. Sci and Health. 1992*. Vol.27. No.3. P.903-927.
- [10] Чен Юаньгао, Дай Цюаньюй, Пи Юй, Чжан Хан. Исследование условий роста водного гиацинта в серебросодержащих сточных водах и определение предела безвредного для него содержания серебра в таких водах. *J. Ecol. 1992*. Т.11. №2. С.30-35.
- [11] Unni K. Samkaram, S. Philip. Heavy metal uptake and accumulation by *Thypha angustifolia* from wetlands around thermal power station. *Int. J. Ecol. and Environ. Sci. 1990*. Vol.16. No.2/3. P.133-144.
- [12] Патин С.А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. М.: Изд. ВНИРО. **1996**. 350с.
- [13] 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». ООО «Сирена» Санкт-Петербург – Мурманск. **2009**. 87с. [Электронный ресурс]: <http://www.siren-ltd.spb.ru/> (дата обращения 8.04.12).
- [14] Грановская Л.А., Широкова Е.А., Телитченко Л.А., Светлова Е.Н. Адаптационные изменения структурно-функциональных характеристик *Chlorella pyrenoidosa* Chick (Chlorophyta) при воздействии ультрафиолетового облучения. *Альгология. 1993*. Т.3. №1. С.41-48.
- [15] Шахматова О.А. Активность антиоксидантной системы личинок рыб как показатель качества морской среды. *Экология моря. 2002*. Вып.59. С.48-50.

- [16] M.A. Walker, B.D. McKersie. Role of ascorbate-glutathione antioxidant system in chilling resistance of tomato. *J. Plant Physiol.* **1993**. Vol.141. P.234-239.
- [17] Государственная фармакопея СССР. Вып. 2. Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье. *МЗ СССР. 11-е изд., доп. М.: Изд-во Медицина. 1989.* 398с.
- [18] ГОСТ 1936-85. Чай. Правила приемки и методы анализа. *М.: ИПК Изд-во стандартов. 2001.* 9с.
- [19] ГОСТ Р 51652-2000. Спирт этиловый ректификованный из пищевого сырья. Технические условия. *М.: Изд-во ФГУП СТАНДАРТИНФОРМ. 2008.* 9с.
- [20] Лапин А.А. Методика выполнения измерений на кулонометрическом анализаторе МВИ-01-44538054-07. Суммарная антиоксидантная активность. Свидетельство об аттестации МВИ № 4 выданное федеральным государственным учреждением «Тамбовский центр стандартизации, метрологии и сертификации». *ООО Концерн «Отечественные инновационные технологии», г. Жердевка Тамбовской обл. 2007.* 6с.
- [21] Галеева М.Э., Лапин А.А., Чугунов Ю.В., Калайда М.Л. Антиоксидантная активность – перспективный интегральный показатель для определения индекса качества вод. *Бутлеровские сообщения.* **2012.** Т.29. №3. С.110-119.
- [22] Лапин А.А., Галеева М.Э., Зеленков В.Н., Попов А.И., Калайда М.Л., Русаков А.В. Антиоксидантная активность - интегральный показатель характеристики грунтов в водных экосистемах. *Бутлеровские сообщения.* **2012.** Т.30. №4. С.140-146.
- [23] Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Утверждены приказом Росрыболовства №695 от 4 августа 2009 года. *Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. 2009.* №43. 103с.
- [24] Григорьев Ю.С. Токсикологические методы анализа. *Методика определения токсичности питьевых вод, отходов по измерению оптической плотности тест-культуры водорослей хлорелла (Chlorella vulgaris Beijer). ПНД ФТ 14.1:2:3:4. 10-04; 16.1:2.3:3.7-04. Разработчик Красноярский гос. университет. М.: Изд-во Министерства природных ресурсов Российской Федерации. 2007.* 36с.
- [25] Берк К., Кэйри П. Анализ данных с помощью Microsoft Excel.: Пер. с англ. *М.: Издательский дом "Вильямс". 2005.* 560с.
- [26] Бараз В.Р. Корреляционно-регрессионный анализ связи показателей коммерческой деятельности с использованием программы Excel: учебное пособие. *Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ». 2005.* 102с.
- [27] Христофорова Н.К. Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами. *Л.: Наука. 1989.* 192с.
- [28] Yuan, Yvonne. Antioxidant and antiproliferative activities of extracts from a variety of edible seaweeds. *Food Chem. Toxicol / Ed. N. Walsh. 2006.* Vol.44. P.1144-1150.
- [29] Амосов В.В., Марков М.В., Лапин А.А., Зеленков В.Н. Растения и сине-зеленые водоросли гидротермальных участков вулканов Камчатки. *Материалы 6-й международной научной конференции: Фитотерапия, биологически активные вещества естественного происхождения в современной медицине (14-15 декабря 2006 г., г. Черноголовка). Черноголовка.: Редакционно-издательский отдел ИПХФ РАН. 2006.* С.25-28.
- [30] P. Ruperez, O. Ahrazem, J.A. Leal. Potential antioxidant capacity of sulfated polysaccharides from the edible marine brown seaweed *Fucus vesiculosus*. *J. Agric Food Chem. 2002.* Vol.50. No.4. P.840-845.
- [31] G. Ruberto, V. Baratta, D. Biondi, V. Amico. Antioxidant activity of the marine algal genus *Cystoseira* in a micellar model system. *J. Appl. Phicol. 2001.* Vol.13. No.5. P.403-407.
- [32] Аминина Н.М., Кадникова И.А., Вострокнутов А.А. Антиоксидантная активность экстрактов морских водорослей. С.838-841. [Электронный ресурс]: [http://www.tingo-center.ru/attachments/022\\_838-967-biotechnology-konvalov.pdf](http://www.tingo-center.ru/attachments/022_838-967-biotechnology-konvalov.pdf) (дата обращения 8.04.12).
- [33] Калайда М.Л., Борисова С.Д. Аккумуляция загрязняющих веществ водными растениями и возможности утилизации растительной массы. *Бутлеровские сообщения.* **2010.** Т.21. №9. С.33-39.
- [34] ГОСТ 6709-72. Вода дистиллированная. Технические условия. *М.: Изд-во стандартов. 1996.* 22с.