

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ОПАСНОСТИ В ГИДРОСФЕРЕ ECOLOGICAL PROBLEMS AND HAZARDS IN THE HYDROSPHERE

УДК 574.65+632.5: 621.039

DOI: 10.34753/HS.2023.5.3.264

ИНВАЗИИ ТЕПЛОЛЮБИВОЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ КАК УГРОЗА ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ОБЪЕКТАХ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В.Н. Безнососов¹, А.Л. Суздалева²

¹ООО НПО «Гидротехпроект», г. Валдай,
Россия;

²ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский университет «Московский
энергетический институт», г. Москва, Россия
SuzdalevaAL@yandex.ru

INVASIONS OF THERMOPHILIC AQUATIC VEGETATION AS A THREAT OF AN EMERGENCY SITUATION AT NUCLEAR POWER FACILITIES

Viktor N. Beznosov¹, Antonina L. Suzdaleva²

¹Scientific and Industrial Research Association
“Gidrotehproekt”, Valday, Russia;

²National Research University "Moscow Power
Engineering Institute", Moscow Russian
Federation
SuzdalevaAL@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время возник высокий риск инвазии в водоемы-охладители АЭС ряда видов теплолюбивой плавающей растительности. Наибольшую опасность представляют водный гиацинт, пистия и гигантская сальвиния. Массовое развитие этих растений в водных объектах многих стран уже вызвало катастрофические последствия. Они внесены в международные и национальные перечни наиболее опасной сорной водной растительности. В результате стремительного размножения данные растения способны в течение короткого срока покрыть всю поверхность водного объекта. Это создает серьезные биологические помехи в работе систем водоснабжения, ирригации и объектов энергетики; затрудняет судоходство, приводит к гибели водных экосистем и уничтожению водных биологических ресурсов. В ряде стран инвазия этих видов стала причиной гуманитарных катастроф. Согласно действующему законодательству Российской Федерации, подобные события должны рассматриваться как чрезвычайные ситуации регионального и межрегионального масштабов. Особую опасность представляет инвазия водного гиацинта и других указанных видов в водоемы-охладители АЭС. Их массовое развитие неизбежно приведет к снижению

Abstract. At present, there is a high risk of invasion of a number of types of thermophilic floating vegetation into the nuclear power plant cooling pond. The greatest dangers are water hyacinth, water lettuce and giant salvinia. The massive development of these plants in water bodies of many countries has already caused catastrophic consequences. They are included in the international and national lists of the most dangerous aquatic weeds. As a result of rapid reproduction these species are able to cover the entire surface of the water body in a short time. This creates serious biological interference in the operation of water supply systems, hinders navigation, leads to the destruction of aquatic ecosystems. According to the current legislation of the Russian Federation, such events should be considered as emergencies of regional and interregional scale. Particularly dangerous is the invasion of water hyacinth and other above-mentioned species into the NPP cooling pond. Their massive development will inevitably lead to a decrease in heat transfer at the water-air border, as well as clogging of water intake grids and filters. This will create a risk of an accident as a result of overheating of power units. Under the existing conditions, it is almost impossible to prevent the invasion of floating vegetations into NPP cooling ponds. The real way to prevent an emergency

теплопередачи на границе вода-воздух, а также засорению водозаборных решеток и фильтров. В результате к теплообменникам АЭС начнет поступать вода с более высокой температурой, а ее объем сокращается. Это создает риск аварии в результате перегрева энергетических агрегатов. Высокому риску инвазии плавающих водных сорняков способствуют многочисленные попытки использовать их для биологической очистки вод. Кроме того, они культивируются как декоративные растения в аквариумах и бассейнах. В существующих условиях предотвратить инвазию в водоемы-охладители опасных для эксплуатации АЭС плавающих растений практически невозможно. Действенным путем предотвращения таких чрезвычайных ситуаций является организация мониторинга, а также превентивная разработка средств химической борьбы и механического уничтожения плавающей растительности.

Ключевые слова: водоем-охладитель АЭС; биопомехи; водный гиацинт; пистия; гигантская сальвиния.

Введение

В настоящее время наблюдается расширение ареалов ряда тропических плавающих водных растений, вселение (инвазия) которых в новые области создает большие проблемы [Abonyo, Howard, 2012; Patra, 2013; Admas et al., 2017; Harun et al., 2021; Martinez Jimenez, Gomez Balandra, 2022]. Наиболее катастрофические последствия имеет инвазия таких видов как водный гиацинт (эйхорния), пистия и гигантская сальвиния. Стремительное массовое развитие этих видов вызывает нарушение работы систем водоснабжения, ирригации и объектов гидроэнергетики. Становится невозможным использование водных объектов для судоходства, рыбоводства и рыболовства. В ряде случаев происходит катастрофическое ухудшение жизни населения, требующее принятия экстренных мер. Например, в Судане инцидент инвазии водного гиацинта имел такие последствия для местного населения, что потребовалось привлечение гуманитарной помощи ООН. Помимо прочего, массовое

situation is the arrangement of monitoring, as well as the preventive development of chemical control means and mechanical destruction of floating vegetation.

Keywords: NPP cooling pond; biological interference; water hyacinth; water lettuce; giant salvinia.

размножение видов-вселенцев (инвайдеров) приводит к уничтожению естественных водных экосистем. В действующем законодательстве РФ подобные события квалифицируются как чрезвычайные ситуации (ЧС) регионального и межрегионального масштабов. Их можно рассматривать как один из видов биосоциальных ЧС [Суздалева, 2022].

Особую опасность в России представляют вспышки развития свободно плавающих тропических растений (водного гиацинта, пистии и гигантской сальвинии) в районах размещения объектов атомной энергетики. Данные виды в настоящее время широко распространились в Европе и даже встречаются в некоторых водных объектах Российской Федерации.

На большинстве российских атомных электростанций (АЭС) используются оборотные системы технического водоснабжения (СТВ) открытого типа, включающие так называемые водоемы-охладители. Они представляют собой видоизмененные озера или водохранилища, значительная часть объема которых вовлекается в

циркуляционное течение. Формирующее его воды, нагретые при прохождении через теплообменники АЭС, двигаясь к водозабору электростанции, постепенно снижают свою температуру и становятся пригодными для повторного использования. Недостаточный уровень охлаждения вод или сокращение объема их подачи к теплообменной аппаратуре при массовом развитии в водоемах-охладителях свободно плавающей водной растительности создает угрозу аварии [Горюнова и др., 2002]. Аналогичные ЧС в других регионах мира не наблюдались только по причине использования систем охлаждения другого типа (СТВ закрытого типа с градирнями, охлаждение морскими водами). Инвазии теплолюбивых видов в водоемы-охладители способствует постоянно повышенная температура воды таких водоемов [Суздалева и др., 2015]. Случаи массового развития в этих водных объектах экзотических форм растений и животных уже неоднократно отмечались ранее [Безносов, Суздалева, 2001].

Следует отметить, что аналогичные события могут произойти и на тепловых электростанциях с оборотной системой технического водоснабжения открытого типа, а также на прудах-охладителях крупных промышленных объектов, примером которых может служить пруд-охладитель Магнитогорского металлургического комбината [Любимова и др., 2020].

Исключить вселение тропических видов свободно плавающей растительности в водоемы-охладители невозможно. Своевременное обнаружение инвайдеров, позволяющее принять меры по недопущению их массового развития, представляет собой вполне реальную задачу. Необходимым условием является понимание опасности нарушения работы АЭС из-за возникновения биопомех, которые могут вызвать эти растения. Специалисты, занимающиеся эксплуатацией водоемов-охладителей, должны располагать информацией, позволяющей идентифицировать подобные виды.

Опасные растительные инвайдеры

Наиболее высокий риск возникновения ЧС, обусловленной биопомехами в работе СТВ АЭС, создает угроза проникновения в водоемы-охладители водного гиацинта или эйхорнии

толстоножкой (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.). Это растение выглядит как плавающая на поверхности воды розетка из мясистых округлых листьев, диаметр которой обычно составляет несколько десятков сантиметров (рисунок 1). В ее центре находится соцветие голубой или фиолетовой окраски. Эйхорния размножается как семенами, так вегетативным путем, образуя отпочковывающиеся отростки. В результате каждые 11–18 суток может происходить удвоение численности растений, и в течение непродолжительного времени на поверхности воды возникает сплошной ковер эйхорнии, иногда достигающий плотности, позволяющий выдерживать вес человека (рисунок 2). Оптимальной для развития данного вида является температура 28–30 °С, при 10 °С рост растений прекращается [Gopal, 1987]. Понижение температуры до 5 °С вызывает гибель эйхорнии [Owens, Madsen, 1995].



Рисунок 1. Водный гиацинт (*Eichhornia crassipes*), общий вид молодого растения (https://apps.lucidcentral.org/pppw_v10/text/web_mini/entities/water_hyacinth_455.htm)

Figure 1. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), general view of a young plant

Естественным ареалом водного гиацинта является бассейн р. Амазонка, но в XIX–XX веках данный вид широко распространился в Северной и Южной Америке, Африке, Азии, Австралии и Европе в водных объектах с подходящими для него температурными условиями [Gopal, 1987; Basu et al., 2021]. В настоящее время эйхорния отмечена в ряде регионов юга России [Литвинская, Савченко, 2016] и в центральных ее областях на участках сброса подогретых вод [Щербаков, Майоров, 2013].



Рисунок 2. Поверхность водного объекта, покрытая сплошным «ковром» водного гиацинта (*Eichhornia crassipes*)

(<https://xentaika.ru/vodyanoy-giacint-ili-eyhorniya-tolstonojkovaya-xl-xf0g3oY8JBuUEt0mn4t-vi.html>)

Figure 2. The surface of a water body covered with a continuous “carpet” of Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)

Инвазия и последующее массовое развитие водного гиацинта неоднократно приводили к катастрофическим последствиям во многих странах по причине блокировки работы водозаборов, ирригационных и дренажных систем, нарушения работы гидроагрегатов электростанций [Tellez et al., 2008; Coetzee et al., 2009]. Известны случаи, когда развитие эйхорнии приводило к остановке судоходства и даже становилось причиной наводнений в результате закупорки русел водотоков. Заражение водоемов водным гиацинтом также практически всегда приводит к деградации их экосистем и утрате запасов водных биологических ресурсов [Villamagna, Murphy, 2010; Degaga, 2018]. В районах, где основным занятием является рыболовство, это иногда становится причиной вынужденной миграции населения.

Большую опасность представляет и инвазия в водоемы-охладители другого крупного плавающего растения – пистии телорезовидной (*Pistia stratiotes* L.). На протяжении XX века данный вид распространился из тропической зоны Африки на другие континенты [Martinez Jimenez, Gomez Balandra, 2022], в частности в Европу [Шаповалов, Сапрыкин, 2016]. В конце XX – начале XXI века пистия отмечена на ряде водоемов юга России [Литвинская, Савченко, 2016], а также в ее центральных областях на

участках сброса подогретых вод, например, в Московском регионе [Щербаков, Майоров, 2013; Таллер и др., 2021].



Рисунок 3. Скопления пистии, дрейфующие по реке Северный Донец

(http://paranormal-news.ru/news/ukrainskuju_reku_okkupiroval_tropicheskij_sornjak/2013-07-13-7280)

Figure 3 Water lettuce (*Pistia stratiotes*)

accumulations drifting along the Northern Donets River

Листья пистии, длина которых может достигать 30 см, образуют плотную розетку. При интенсивном вегетативном размножении вся поверхность водного объекта может быть покрыта сплошным слоем этого растения (рисунок 3). Оптимальной для пистии является температура воды 25 °С. Вселение в водные системы данного вида и последующее его развитие создает серьезные биопомехи и вызывает деградацию водных экосистем.

Аналогичные явления происходят при инвазии в водные объекты плавающего папоротника – гигантской сальвинии (*Salvinia molesta* D.S. Mitch). Латинское название данного вида переводится как Сальвиния назойливая, но оно практически не используется. Распространившееся в научной литературе название гигантская сальвиния (*giant salvinia*) объясняется тем, что другие растения этого же рода значительно уступают ей в размерах. Длина ее стебля, от которого отходят округлые листья, составляет всего несколько сантиметров (рисунок 4). При благоприятных условиях биомасса сальвинии на протяжении двух суток может увеличиться приблизительно в 2 раза [Mitchell, Tur, 1975; Barrett, 1981]. За несколько недель растения этого вида могут образовать на поверхности водоема сплошной покров

толщиной до 1 м [Thomas, Room, 1986]. Во многих случаях подобные явления рассматриваются как бедствия, сопровождающиеся значительным экономическим и экологическим ущербом. Родиной гигантской сальвинии является Бразилия. Этот вид из-за деятельности человека, сначала проник в Северную Америку, Австралию, Африку и Юго-Восточную Азию, а затем и в водоемы ряда стран Южной и Центральной Европы [Coetzee, Hill, 2020]. Наиболее высокие темпы развития сальвинии наблюдаются при 30 °C. При снижении температуры воды до 10 °C ее рост останавливается.



Рисунок 4. Отдельный экземпляр гигантской сальвинии (*Salvinia molesta*) (https://id-live-02.slatic.net/p/658ddb541dca819c83b39fceb24f1f1.jpg_1200x1200q80.jpg)

Figure 4. Individual specimen of giant salvinia (*Salvinia molesta*)

Основные механизмы инвазии

Общей чертой описанных видов водной растительности является то, что в течение XX-XXI веков они заселили новые обширные регионы, находящиеся на огромном расстоянии от границ их естественного ареала. Эйхорния и сальвиния преодолели океаны, проникнув из Южной Америки в Евразию. Это стало возможным только в результате человеческой деятельности, из-за которой возникли два основных механизма инвазии:

1. *Культивирование в качестве декоративных растений.* Все три вида выращиваются в аквариумах. Водный гиацинт и

пиистия также используются для украшения прудов и бассейнов [Labrada, Fornasari, 2002]. С этой целью в течении многих десятилетий данные виды перемещались по всем континентам. Всегда существовала высокая вероятность их попадания во внешнюю среду, например, при очистке аквариума или бассейна [Афанасьев, 2008; Щербаков, Майоров, 2013; Koncki, Aronson, 2015; Литвинская, Савченко 2016]. Поскольку эти виды способны к интенсивному вегетативному размножению, то для их массового развития в водном объекте достаточно одного растения.

2. *Использование для биологической очистки вод и в качестве растительного сырья.* Высокие темпы роста эйхорнии, пиистии и сальвинии, а также относительная легкость извлечения массы плавающих растений из воды обуславливают их привлекательность для фиторемедиации, т.е. очистки воды путем аккумуляции загрязнителей в растениях [Victor et al., 2016; Saha et al., 2018; Basu et al., 2021]. В связи с этим неоднократно предлагалось интродуцировать эти виды в регионах, в которых они ранее не встречались. Высказывались также предложения использовать водный гиацинт как сырье для получения биотоплива [Gandhimathi, 2017; Martinez Jimenez, Gomez Balandra, 2022], органических удобрений [Ogut, 2019] и корма для скота [Indulekha et al., 2019]. Аналогичные цели могут быть достигнуты и с использованием других видов опасной водной растительности. Эта деятельность может принести ощутимую экономическую выгоду, но неизбежно сопряжена с высоким риском неконтролируемой инвазии, например, при транспортировке растительной массы на объекты по ее переработке.

Рассматривая проблему инвазии плавающих теплолюбивых водных растений, следует обратить внимание на существенное различие в отношении к ней со стороны современных зарубежных и отечественных специалистов. В странах, где последствия массового развития в водоемах эйхорнии, пиистии и гигантской сальвинии уже проявились в полной мере, основная часть посвященных им публикаций касается проблем борьбы с данными видами и контроля за их дальнейшим распространением. На национальном и международном уровнях они внесены в перечни наиболее опасных инвайдеров [Holm et al., 1977;

Labrada, Fornasari, 2002; Koutika, Rainey, 2015; Yan, Guo, 2017].

В России, напротив, широко обсуждается перспективность интродукции данных видов для биологической очистки водных объектов. Осуществляются попытки практической реализации данной идеи: например, разведение водного гиацинта в Москве-реке [Лагутин, Ханбабаева, 2019]. Один из авторов статьи в конце 80-х гг. XX в. был свидетелем попытки (к счастью, неудачной) вселения водного гиацинта в водоем-охладитель Курской АЭС (Курчатовское водохранилище) с целью улучшения качества его вод. Таким образом, целенаправленное распространение этих растений дополняет уже существующий высокий риск их инвазии при непреднамеренном заносе в водные объекты. Опасность распространения плавающих растений, создающих серьезные биопомехи при осуществлении подобных проектов интродукции, полностью игнорируется, как и необходимость разработки мер по контролю за их попаданием во внешнюю среду. В отличие от зарубежных стран, эйхорния, пистия и гигантская сальвиния не

внесены в перечни опасных инвазионных видов России [Дгебуадзе и др., 2018].

Все это создает высокий риск проникновения этих проявляющих высокую инвазионную способность видов в водоемы-охладители, в которых существуют благоприятные условия для их массового развития. В сложившихся условиях возникновение ЧС, обусловленных нарушением работы СТВ АЭС, практически неизбежно.

Сценарий развития ЧС

Любая ЧС представляет собой цепь событий, объединенных причинно-следственными связями. Каждое событие может рассматриваться как ее отдельная стадия, на которой меры по предотвращению и минимизации нежелательных явлений (воздействий поражающих факторов и их последствий) имеют свою специфику. Подобные стадии можно выделить и в развитии чрезвычайной ситуации на водоеме-охладителе АЭС, вызванной вспышкой размножения опасных растительных инвайдеров (таблица 1).

Таблица 1. Стадии развития ЧС и меры по минимизации негативных воздействий на работу СТВ АЭС
Table 1. The stages of emergency situation development and measures to minimize negative impacts on the operation of nuclear power plant technical water supply systems

Стадия	Процессы и явления, создающие угрозу работе СТВ АЭС	Меры по минимизации негативных явлений
Зарождение	Формирование благоприятных условий для развития инвайдеров	Организация мониторинга водной растительности
Инициирование	Появление в прибрежной зоне отдельных скоплений инвайдеров	Оперативное уничтожение подобных скоплений
Воздействие первичных факторов	Снижение теплообмена на границе вода-воздух, ограничение подачи воды к теплообменникам	Очистка в авральном режиме решеток и фильтров
Воздействие вторичных факторов	Биопомехи, обусловленные жизнедеятельностью инвайдеров	Борьба с возникшими биопомехами
Затухание	Разложение массы отмершей растительности, ухудшающее качество воды	Уничтожение инвайдеров на участках подогрева вод, ликвидация скоплений некромассы
Ликвидация	Периодически возникающие вспышки развития инвайдеров	Уничтожение растений механическими и химическими средствами

Стадия зарождения – это создание предпосылок для возникновения ЧС. Для рассматриваемых событий подобного рода предпосылки уже существуют на всех водоемах-охладителях. Прежде всего это постоянный подогрев воды на значительной части акватории.

Важным условием массового развития всех трех видов является высокий уровень эвтрофирования вод, т.е. присутствие в них значительного количества так называемых биогенных элементов, необходимых для роста растений, главным образом в форме неорганических

соединений азота и фосфатов. Рассматривая этот вопрос, следует отметить, что все российские водоемы-охладители подвержены не только интенсивному химическому эвтрофированию, в результате поступления в них этих веществ с различными хозяйственно-бытовыми стоками и водами поверхностного стока с окружающей территории [Суздалева и др., 2013]. В них наблюдаются процессы термического эвтрофирования, заключающиеся в интенсивном разложении азот- и фосфорсодержащих субстратов (донных отложений, растительных остатков) при повышенной температуре воды [Безносков и др., 2002]. В сложившихся условиях представляется целесообразной организация в теплое время года мониторинга растительности водоемов-охладителей. Это дает возможность своевременно зафиксировать появление первых особей инвайдеров, а также установить их источник.

Стадия иницирования заключается в появлении на отдельных участках прибрежной зоны водоема-охладителя локальных скоплений инвайдеров. Для них, как и для других плавающих растений, необходимым условием интенсивного вегетативного размножения является слабая подвижность вод. На участках с течением они появляются позже, когда поверхность застойных зон уже полностью заполнена. На данной стадии дальнейшее развитие инвазии может быть прекращено оперативным уничтожением обнаруженных скоплений чужеродной растительности. Кроме того, необходимо отслеживание их повторного появления.

Стадийей воздействия первичных факторов ЧС следует считать неожиданное массовое появление плавающих растений в циркуляционном течении. Наиболее вероятным временем наступления этой стадии в умеренной зоне России является начало лета. К этому времени при отсутствии своевременного обнаружения и ликвидации локальных скоплений растений-инвайдеров в прибрежной зоне в результате интенсивного вегетативного размножения все большее количество их особей будет выноситься в циркуляционное течение. Часто это происходит в форме выноса «островов» из плавающей растительности, площадь которых

может достигать сотен квадратных метров (см. рисунок 3).

Первичным фактором воздействия также можно считать неизбежно возникающую на данной стадии развития ЧС угрозу сокращения объема воды, подаваемой к теплообменникам. Это особенно опасно, поскольку при развитии инвайдеров на поверхности циркуляционного течения на водозабор поступает вода с более высокой температурой. В этих условиях, для обеспечения нормальной работы теплообменников, потребуется значительно больший объем воды. Как свидетельствуют материалы, полученные при исследовании различных водных объектов, присутствие большого количества плавающих растений вызывает значительное снижение скорости течения. Замедлению передвижения вод по акватории водоема-охладителя также будет способствовать необходимость профилактической остановки энергоблоков для очистки решеток водозабора и фильтров от огромного количества плавающих растительных фрагментов. В свою очередь замедление течения в центральной части водоема-охладителя создаст более благоприятные условия для размножения плавающих растений и в этой части акватории, что приведет к дальнейшему снижению объема воды, поступающей к водозабору АЭС.

Уничтожение плавающих растений во время вспышки их массового развития на поверхности циркуляционного течения требует применения специальной техники и средств. Поэтому основной мерой на данной стадии является периодическая очистка решеток и фильтров. Данную стадию, на которой борьба с развитием инвайдеров ведется в авральном режиме, можно считать **кульминационной**, во время которой риск аварии на АЭС вследствие нарушения работы теплообменной аппаратуры наиболее высок. Опасность подобного события повышается также по причине того, что в летний период, когда скорость вегетации плавающих растений наиболее велика, уровень охлаждения вод в силу высокой температуры воздуха падает до минимума. Таким образом, именно в этот период формируется комплекс условий, способный вызвать критический перегрев оборудования в результате недостаточно

охлаждения циркулирующих вод и сокращения объема их подачи.

Стадия воздействия вторичных факторов главным образом обусловлена последствиями жизнедеятельности растений и их отмиранием. Интенсивный фотосинтез водных растений сопровождается подщелачиванием среды, что резко интенсифицирует процесс образования твердых отложений (накипи) на поверхности теплообменников [Суздалева и др., 2004]. Интенсивному развитию плавающих растений обычно сопутствует отмирание их отдельных частей. Их разложение обогащает воду взвешенным и растворенным органическим веществом. Мелкие частицы отмерших растений являются основной пищей обитающих во внутренних частях СТВ организмов-обрастателей (дрейссены, мшанок, гидроидов), массовое развитие которых также может обусловить биопомехи, создающие угрозу аварийной ситуации. Высокое содержание растворенного органического вещества стимулирует развитие на поверхности контактирующего с водой оборудования бактериальной слизи (биопленки). Данный фактор также весьма важен. Биопленка на теплообменниках толщиной всего 0,1 мм может снизить теплопередачу более чем в 4 раза [Лудянский, Вискребец, 1981].

Плавающие растения в процессе жизнедеятельности испаряют со своей поверхности большое количество влаги. При покрытии ими значительной части поверхности водного объекта потери за счет испарения возрастают многократно [Abonyo, Howard, 2012; Basu et al., 2021]. В ряде случаев это может вызвать дефицит воды в регионе [Benton et al., 1978]. Аналогичные явления ожидаемы и в водоемах-охладителях, что потребует увеличения их дополнительной подпитки.

На стадии воздействия вторичных факторов происходит не только повышение риска аварии в СТВ АЭС за счет развития дополнительных видов биопомех, но и появление угроз санитарно-эпидемиологического характера. Распространению водного гиацинта нередко сопутствует появление в регионе новых опасных заболеваний, для переносчиков которых формирование зарослей этого растения создает благоприятные условия (ссылка). Это обуславливает необходимость расширения

спектра действий по минимизации опасных процессов и явлений.

Развитие теплолюбивых инвайдеров в умеренной зоне носит сезонный характер. В холодное время года эти растения могут вегетировать только непосредственно на участке сброса подогретых вод. Поэтому интенсивность воздействия первичных факторов осенью неизбежно снизится. Данный период можно назвать **стадией затухания**. Но в то же время это ни в коей мере не следует рассматривать как самоликвидацию ЧС в силу естественных причин. Без принятия специальных мер даже весьма небольшое количество растений, перезимовавших в наиболее обогреваемой зоне водоема-охладителя, с наступлением весны обеспечит новую вспышку массового развития. Кроме того, отмирание плавающих растений и разложение образующейся некромассы (скоплений растительных остатков) обусловит интенсивное воздействие ряда вторичных факторов и в осенне-зимний период. Следовательно, основными мерами на стадии затухания должны стать уничтожение теплолюбивых растений на участках сброса вод. Можно также ожидать, что большая масса отмерших растений будет накапливаться в прибрежной зоне, создавая опасные источники вторичного загрязнения вод, что может стимулировать возникновение серьезных биопомех во внутренних узлах СТВ АЭС [Суздалева и др., 2004]. Подобные явления наблюдались, например, на водоеме-охладителе Курской АЭС, после вспышки его зарастания в 2004–2005 гг. [Безносков и др., 2006]. Разложение прибрежных валов из отмершей растительности, мощность которых местами превышала 1 м, вызвало резкое ухудшение качества воды на обширных участках акватории и массовую гибель водных организмов. Подобные скопления некромассы необходимо оперативно убирать из прибрежной зоны.

Без осуществления специальных мер вспышки развития плавающих растений-инвайдеров будут периодически повторяться. Избежать этого можно только на основе комплекса мероприятий, проведение которых следует обозначить как **стадию ликвидации**. Основной целью на этой стадии является недопущение развития опасных инвайдеров.

Выполнение этой задачи может быть осуществлено на различных стадиях развития ЧС. Оптимальным вариантом является уничтожение чужеродных растений при их появлении, т.е. на стадии инициирования ЧС. Но протяженность береговой линии водоемов-охладителей АЭС обычно составляет несколько десятков километров, а количество источников, из которых может произойти вселение чужеродных видов, весьма велико, и большинство из них контролировать невозможно (например, любительские аквариумы). Таким образом, необходимым является мониторинг инвайдеров. Установление факта инвазии, даже если все появившиеся в водоеме растения удалось уничтожить, служит сигналом для оперативной подготовки мер по предотвращению их массового развития.

Способы борьбы с распространением инвайдеров

Существуют различные способы борьбы с рассматриваемыми видами плавающих растений, включая биологические [Coetzee et al., 2009]. Они опробованы во многих странах, но ни в одном случае не привели к полному исчезновению инвайдеров. Вместе с тем, их применение позволило значительно снизить негативные последствия массового развития плавающих растений. Большую эффективность показывают механические и химические методы борьбы. В первом случае используются специальные технические средства, предназначенные для сбора фитомассы с поверхности воды, во втором случае водные объекты обрабатываются гербицидами. Оба эти способа к настоящему времени еще недостаточно разработаны, и их совершенствование представляет весьма актуальную задачу. Необходимо отметить, что механические и химические меры борьбы с плавающими водными сорняками являются эффективными только при периодическом повторении. Это связано с тем, что даже после полного уничтожения этих видов в конкретном водном объекте через непродолжительное время может произойти их повторная инвазия. Данные растения могут длительное время сохраняться в виде семян и спор. Семена водного гиацинта сохраняют свою жизнеспособность в донных отложениях на протяжении 20 лет [Gopal, 1987].

Поэтому на АЭС и других предприятиях, для которых вселение в источники технического водоснабжения тропических плавающих растений может создать аварийную ситуацию, целесообразно в превентивном порядке подготовить технические и химические средства борьбы с инвайдерами, а также обучить персонал использовать их. Задача ликвидации биологических ЧС подобного характера на территории РФ в определенной мере облегчается тем, что время наступления этих событий можно прогнозировать на основе динамики термического режима водного объекта, т.е. установления момента времени, когда температура воды на значительной части акватории достигнет уровня, благоприятного для размножения инвайдеров.

Выводы

1. В ближайшее время следует ожидать появление в водоемах-охладителях АЭС, расположенных в умеренной зоне России, тропических видов плавающей водной растительности, массовое развитие которых способно создать угрозу возникновения чрезвычайной ситуации, обусловленной нарушением работы систем технического водоснабжения.

2. Для своевременного установления факта инвазии опасных видов растений в весенне-летний период следует организовать ежегодное проведение мониторинга водной растительности водоемов-охладителей.

3. Необходимо создать специальные плавсредства, способные осуществлять механическую очистку поверхности воды от плавающей растительности.

4. Поскольку применяемые в настоящее время для борьбы с водным гиацинтом химические средства не дают удовлетворительного эффекта, а их приобретение в зарубежных странах потенциально сопряжено с определенными трудностями, представляется целесообразным своевременно привлечь к решению данной проблемы отечественных специалистов.

5. Для придания системного характера деятельности по борьбе с инвазиями в водоемы-охладители следует разработать нормативные документы, регламентирующие порядок

предпринимаемых действий и привлекаемые для их осуществления ресурсы. Важным является своевременное согласование планируемых мер

борьбы с опасными растениями в органах исполнительной власти, осуществляющих надзор в сфере охраны окружающей среды.

Литература

Афанасьев В.Е. Анализ мест натурализации адвентивных растений в Астраханской области // Вестник АГТУ. 2008. №6(47). С. 238–241.

Безносков В.Н., Кучкина М.А., Суздалева А.Л. Исследование процесса термического евтрофирования в водоемах-охладителях АЭС // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. №5. С. 610–615.

Безносков В.Н., Суздалева А.Л. Экзотические виды фитобентоса и зообентоса водоемов-охладителей АЭС как биоиндикаторы теплового загрязнения // Вестник МГУ. Серия 16 Биология. 2001. №3. С. 27–31.

Горюнова С.В., Попов А.В., Суздалева А.Л., Безносков В.Н. Чрезвычайные экологические и биологические ситуации в техногенных водных экосистемах // Вестник Российского ун-та дружбы народов. Сер. Сельскохозяйственные науки. 2002. №8. С. 10–16.

Лагутин А.А., Ханбабаева О.Е. Фиторемедиационные свойства водного гиацинта (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) // Вестник ландшафтной архитектуры. 2019. №18. С. 52–57.

Литвинская С.А., Савченко М.Ю. К вопросу об инвазивности флоры Западного Кавказа // Ботанический вестник Северного Кавказа. 2016. №1. С. 23–35.

Людянский М.Л., Выскребец А.М. Методы борьбы с биологическими обрастаниями в системе водоснабжения металлургического предприятия. // Промышленная. энергетика. 1981. №11. С.34–36.

Любимова Т.П., Паршакова Я.Н., Лепихин А.П., Ляхин Ю.С. Повышение устойчивости функционирования водоемов-охладителей за счет использования схем селективного забора воды // Вода и экология: проблемы и решения. 2020. №2(82). С. 45–58. DOI: 10.23968/2305-3488.2020.25.2.45-58.

Процесс вторичного загрязнения водоема: основные фазы и мероприятия по предотвращению нежелательных экологических последствий / Безносков В.Н., Горюнова С.В., Кучкина М.А., Попов А.В., Суздалева А.А. // Вестник Московского государственного

References

Abonyo E., Howard G. *Guide to some invasive plants affecting Lake Tanganyika*. Nairobi: IUCN ISI and Lake Tanganyika Authority, 2012. 64 p.

Admas A, Sahle S, Belete E, Agidie A, Alebachew M. Controlling Water Hyacinth in Lake Tana Using Biological Method at Green House and Pond Level. *Eur. Exp. Biol.*, 2017, vol. 7, no. 5(30), pp. 1–10. DOI: 10.21767/2248-9215.100001.

Afanasyev V.E. The analysis of naturalization places of adventitious plants in the astrakhan region. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*, 2008, no 6(47), pp. 238–241. (In Russian).

Barrett S.C.H. Waterweed Invasions. *Scientific American*, 1989, vol. 264, no. 4, pp. 90–97.

Basu A., Hazra A.K., Chaudhury S., Ross A.B., Balachandran S. State of the Art Research on Sustainable Use of Water Hyacinth: A Bibliometric and Text Mining Analysis. *Informatics*, 2021, vol. 8(38), pp. 1–14. DOI: 10.3390/informatics8020038.

Benton A.R., James W.P., Rouse J.W. Evapotranspiration from water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) in Texas reservoirs. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 1978, vol. 14, no. 4, pp. 919–930. DOI: 10.1111/j.1752-1688.1978.tb05588.x.

Beznosov V.N., Kuchkina M.A., Suzdaleva A.L. Studying thermal eutrophication in cooling reservoirs of nuclear power plants. *Water resources*, 2002, vol. 29, no. 5, pp. 610–615. (In Russian; abstract in English).

Beznosov V.N., Suzdaleva A.L. Exotic species of the phytobenthos and the zoobenthos living into cooling reservoirs of nuclear power plants as a bioindicators of the thermal pollution. *Herald of Moscow University. Series 16. Biology*, 2001, no. 3, pp. 27–31.

Coetzee J.A., Hill M.P. *Salvinia molesta* D. Mitch. (Salviniaceae): impact and control. *CAB Reviews*, 2020, vol. 15, no. 33, pp. 1–11. DOI: 10.1079/PAVSNNR202015033.

Degaga A.H. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) biology and its impact on ecosystem, biodiversity,

областного университета. Серия: «Естественные науки». 2006. №3. С. 84–87.

Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100) / Ред. Дзгбуадзе Ю.Ю. Петросян В.Г. Хляп Л.А. М.: Т-во научных изданий КМК, 2018. 688 с.

Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Горюнова С.В. Биологические инвазии в природно-технических системах // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия экология и безопасность жизнедеятельности. 2015. №3. С. 67–78.

Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Кучкина М.А. Экологический механизм эвтрофирования водоема-охладителя АЭС // Безопасность энергетических сооружений. М.: Изд. НИИЭС, 2013. Т. 18. С. 158–177.

Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Кучкина М.А. Экологический мониторинг водных объектов и экоаудит водопользователей как основа борьбы с биопомехами в системах техводоснабжения // Безопасность энергетических сооружений. М.: Изд. НИИЭС, 2004. Т. 14. С. 189–206.

Суздалева А.Л. Биолого-социальные чрезвычайные ситуации // Естественные и технические науки. 2022. №8(171). С. 114–115.

Таллер Е.Б., Командирова А.В., Рамадан Р. Адвентивный вид *Pistia stratiotes* L. (Araceae) в водоемах Москвы // Доклады ТСХА. 2021. Т. 293. Ч.4. С. 437–439.

Шаповалов М.И., Сапрыкин М.А. Чужеродный вид *Pistia stratiotes* L. (Araceae) в водоёмах урбанизированной территории юга России // Российский журнал биологических инвазий. 2016. №1. С. 139–146.

Щербиков А.В., Майоров С.Р. Водные адвентивные растения московского региона // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о земле. 2013. №2. С. 57–61.

Abonyo E., Howard G. Guide to some invasive plants affecting Lake Tanganyika. Nairobi: IUCN ISI and Lake Tanganyika Authority, 2012. 64 p.

Barrett S.C.H. Waterweed Invasions // Scientific American. 1989. Vol. 264. No.4. P. 90–97.

Basu A., Hazra A.K., Chaudhury S., Ross A.B., Balachandran S. State of the Art Research on Sustainable Use of Water Hyacinth: A Bibliometric and Text Mining Analysis. Informatics. 2021. Vol. 8(38). P. 1–14. DOI: 10.3390/informatics8020038.

economy and human well-being. *Journal of Life Science and Biomedicine*, 2018, vol. 8, no. 6, pp. 94–100.

Eicchornia crassipes (Mart.) Solms-Laub. (Pontederiaceae) /Coetzee J.A., Hill M.P., Julien M.H., Center T.D., Cordo H.A. *Biological Control of Tropical Weeds using Arthropods*. Publ. online by Cambridge University Press, 2009, pp. 181–208. DOI:10.1017/CBO9780511576348.011.

Gandhimathi A. Enhanced biofuel production from water hyacinth. *Ecology, Environment and Conservation Paper*, 2017, vol. 23, no. 3, pp. 1586–1590.

Gopal B. *Water Hyacinth*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1987. 477 p.

Goryunova S.V., Popov A.V., Suzdaleva A.L., Beznosov V.N. Extreme ecological and biological situations in technogenic hydro ecosystems. *Bulletin of Peoples' Friendship University, series Ecology and life safety*, 2002, no. 8, pp. 10–16. (In Russian; abstract in English).

Harun I., Pushiri H., Amirul-Aiman A.J., Zulkeflee Z. Invasive Water Hyacinth: Ecology, Impacts and Prospects for the Rural Economy. *Plants*, 2021, vol. 10, 1613, pp. 1–23. DOI:10.3390/plants10081613.

Holm L.G., Plucknett D.L., Pancho J.V., Herberger J.P. *World's worst weeds. Distribution and biology*. Honolulu: University of Hawaii, 1977. 609p.

Indulekha V.P., Thomas C.G., Anil K.S. Utilization of water hyacinth as livestock feed by ensiling with additives. *Indian Journal of Weed Science*, 2019, vol. 51, no. 1, pp. 67–71.

Koncki N.G., Aronson M.F.J. Invasion Risk in a Warmer World: Modeling Range Expansion and Habitat Preferences of Three Nonnative Aquatic Invasive Plants. *Invasive Plant Science and Management*, 2015, no. 8, pp. 1–15. DOI: 10.1614/IPSM-D-15-00020.1.

Koutika L-S., Rainey H.J. A Review of the invasive, biological and beneficial characteristics of aquatic species *Eichhornia crassipes* and *Salvinia molesta*. *Applied ecology and environmental research*, 2015, vol. 13, no. 1, pp. 63–275. DOI: 10.15666/aeer/1301_263275.

Labrada R., Fornasari L. *Management of problematic aquatic weeds in Africa FAO efforts and achievements during the period 1991-2001*. Rome:

- Benton A.R., James W.P., Rouse J.W. Evapotranspiration from water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) in Texas reservoirs // *J. Am. Water Resour. Assoc.* 1978. Vol. 14. No.4. P. 919–930. DOI: 10.1111/j.1752-1688.1978.tb05588.x.
- Coetzee J.A., Hill M.P. *Salvinia molesta* D. Mitch. (Salviniaceae): impact and control // *CAB Reviews*. 2020. Vol. 15. No.033. P. 1–11. DOI: 10.1079/PAVSNNR202015033.
- Controlling Water Hyacinth in Lake Tana Using Biological Method at Green House and Pond Level / *Admas A. Sahle S. Belete E. Agidie A. Alebachew M.* // *Eur. Exp. Biol.* 2017. Vol. 7. No.5(30). P. 1–10. DOI: 10.21767/2248-9215.100001.
- Degaga A.H. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) biology and its impact on ecosystem, biodiversity, economy and human well-being // *Jurnal of Life Science and Biomedicine* 2018. Vol. 8. No.6. P. 94–100.
- Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laub. (Pontederiaceae) / *Coetzee J.A., Hill M.P., Julien M.H., Center T.D., Cordo H.A.* // *Biological Control of Tropical Weeds using Arthropods*. Published online by Cambridge University Press. 2009. P. 181–208. DOI:10.1017/CBO9780511576348.011.
- Gandhimathi A. Enhanced biofuel production from water hyacinth. *Ecology, Environment and Conservation Paper*. 2017. Vol. 23. No.3. P. 1586–1590.
- Gopal B. *Water Hyacinth*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1987. 477 p.
- Harun I., Pushiri H., Amirul-Aiman A.J., Zulkeflee Z. Invasive Water Hyacinth: Ecology, Impacts and Prospects for the Rural Economy // *Plants*. 2021. Vol. 10. No.1613. P. 1–23. DOI: 10.3390/plants10081613.
- Holm L.G., Plucknett D.L., Pancho J.V., Herberger J.P. *World's worst weeds. Distribution and biology*. Honolulu: University of Hawaii, 1977. 609 p.
- Indulekha V.P., Thomas C.G., Anil K.S. Utilization of water hyacinth as livestock feed by ensiling with additives // *Indian Journal of Weed Science*. 2019. Vol. 51. No.1. P. 67–71.
- Koncki N.G., Aronson M.F.J. Invasion Risk in a Warmer World: Modeling Range Expansion and Habitat Preferences of Three Nonnative Aquatic Invasive Plants // *Invasive Plant Science and Food and Agriculture Organization of The United Nations*, 2002. 28 p.
- Lagutin A.A. Khanbabaeva O.E. Phytoremediation properties of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) // *Bulletin of landscape architecture*, 2019, no. 18, pp. 52–57. (In Russian; abstract in English).
- Litvinskaya S.A., Savchenko M.Yu., The question of the western caucasus invasive flora. *Botanical Bulletin of the North Caucasus*, 2016, no. 1, pp. 23–35. (In Russian; abstract in English).
- Ludyansky M.L. Vyskrebets A.M. Methods for combating biological fouling in the water supply system of a metallurgical enterprise. *Industrial energy*, 1981, no. 11, pp. 34–36.
- Lyubimova T.P. Parshakova Ya.N. Lepikhin A.P. Lyakhin Yu.S. Increasing the stability of cooling reservoirs' operation by using selective water intake schemes. *Water and ecology*, 2020, no. 2(82), pp. 45–58. DOI:10.23968/2305-3488.2020.25.2.45-58 (In Russian; abstract in English).
- Martinez Jimenez M, Gomez Balandra M.A. Geographic distribution and the invasive scope of aquatic plants in Mexico. *BioInvasions Records*, 2022, vol. 11, no. 1, pp. 1–12. DOI:10.3391/bir.2022.11.1.01.
- Mitchell D.S., Tur N.M. The Rate of Growth of *Salvinia molesta* (S. *auriculata* Auct.) in Laboratory and Natural Conditions. *Journal of Applied Ecology*, 1975, no. 12, pp. 213–225. DOI:10.2307/2401730.
- Ogotu P.A. Vermicomposting water hyacinth: turning fisherman's nightmare into farmer's fortune // *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, 2019, vol. 4, no. 1, pp. 12–14.
- Owens C.S., Madsen J.D. Low Temperature Limits of Waterhyacinth. *J. Aquat. Plant Manage.* 1995, vol. 33, pp. 63–68.
- Patra S. Aquatic weed resources in India and South-East Asia // *International Journal of Current Research*, 2013, vol. 5, no. 5, pp. 1343–1345.
- Process вторичного загрязнени́я водоема: основные фазы и мероприятия по предотвращению нежелательных экологических последствий [The process of secondary pollution of a reservoir: main phases and measures to prevent undesirable environmental consequences] / Beznosov V.N., Goryunova S.V., Kuchkina M.A., Popov A.V., Suzdaleva A.A. // *Vestnik Moskovskogo*

- Management. 2015. No.8. P. 1–15. DOI: 10.1614/IPSM-D-15-00020.1.
- Koutika L.-S., Rainey H.J. A Review of the invasive, biological and beneficial characteristics of aquatic species *Eichhornia crassipes* and *Salvinia molesta* // *Applied ecology and environmental research*. 2015. V. 13. No.1. P. 63–275. DOI: 10.15666/aeer/1301_263275.
- Labrada R., Fornasari L. Management of problematic aquatic weeds in Africa FAO efforts and achievements during the period 1991–2001. Rome: Food and Agriculture Organization of The United Nations, 2002. 28 p.
- Martinez Jimenez M., Gomez Balandra M.A. Geographic distribution and the invasive scope of aquatic plants in Mexico // *BioInvasions Records*. 2022. Vol. 11. No.1. P. 1–12. DOI: 10.3391/bir.2022.11.1.01.
- Mitchell D.S., Tur N.M. The Rate of Growth of *Salvinia molesta* (*S. auriculata* Auct.) in Laboratory and Natural Conditions // *Journal of Applied Ecology*. 1975. No.12. P. 213–225. DOI: 10.2307/2401730.
- Ogutu P.A. Vermicomposting water hyacinth: turning fisherman's nightmare into farmer's fortune // *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*. 2019. Vol. 4. No.1. P. 12–14.
- Owens C.S., Madsen J.D. Low Temperature Limits of Waterhyacinth // *J. Aquat. Plant Manage.* 1995. Vol.33. P.63–68.
- Patra S. Aquatic weed resources in India and South-East Asia // *International Journal of Current Research*. 2013. Vol. 5. No.5. P. 1343–1345.
- Phytoremediation of wastewater toxicity using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes*) / Victor K.K., Seka Y., Norbert K.K., Sanogo T.A., Celestin A.B. // *International Journal of Phytoremediation*. 2016. Vol. 18. No.10. P. 949–955.
- Saha P., Mondal A., Sarkar S. Phytoremediation of cyanide containing steel industrial wastewater by *Eichhornia crassipes* // *International Journal of Phytoremediation*. 2018. Vol. 20. No.12. P. 1205–1214.
- Tellez T.R., de Rodrigo Lopez E.M., Granado G.L., Perez E.A., Lopez R.M., Guzman J.M.S. The Water Hyacinth, *Eichhornia crassipes*: an invasive plant in the Guadiana River Basin (Spain) // *Aquatic Invasions*. 2008. Vol. 3. P. 42–53.
- gosudarstvennogo oblastnogo universiteta, 2006, no. 3, pp. 84–87. (In Russian).
- Saha P., Mondal A., Sarkar S. Phytoremediation of cyanide containing steel industrial wastewater by *Eichhornia crassipes*. *International Journal of Phytoremediation*, 2018, vol. 20, no. 12, pp. 1205–1214.
- Shapovalov M.I., Saprykin M.A., Alien species *Pistia stratiotes* L. (Araceae) in water bodies of urbanized territories of southern Russia. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2016, no. 1, pp. 139–146.
- Shcherbakov A.V., Mayorov S.R. Alien aquatic plants in the Moscow region. *Bulletin of Udmurt University. Biology series. Geosciences*, 2013, no. 2, pp. 57–61. (In Russian).
- Suzdaleva A.L. Biosocial emergencies. *Natural and technical sciences*, 2022, no. 8(171), pp. 114–115 DOI: 10.25633/ETN.2022.08.08
- Suzdaleva A.L., Beznosov V.N., Goryunova S.V. Biological invasions in natural-technical systems // *Bulletin of the Russian Peoples' Friendship University. Series ecology and life safety*, 2015, no. 3, pp. 67–78.
- Suzdaleva A.L., Beznosov V.N., Kuchkina M.A. Ecological mechanism of eutrophication of the cooling pond of a nuclear power plant. *Safety of energy structures*. Moscow: publ. NIIES, 2013, iss. 18, p. 158–177.
- Suzdaleva A.L., Beznosov V.N., Kuchkina M.A. Environmental monitoring of water bodies and environmental audit of water users as the basis for combating biointerference in technical water supply systems. *Safety of Energy Facilities*, Moscow: publ. NIIES, 2004, iss. 14, pp. 189–206.
- Taller E.B., Komandirova A.V., Ramadan R. Adventive species *Pistia stratiotes* L. (Araceae) in water bodies of Moscow. *Reports of the TSHA*, 2021, iss. 293(4), pp. 437–439.
- Tellez T.R., de Rodrigo Lopez E.M., Granado G.L., Perez E.A., Lopez R.M., Guzman J.M.S. The Water Hyacinth, *Eichhornia crassipes*: an invasive plant in the Guadiana River Basin (Spain). *Aquatic Invasions*, 2008, vol. 3, pp. 42–53.
- The most dangerous invasive species of Russia* (TOP 100) / edited by Dgebuadze Yu.Yu., Petrosyan V.G., Khlyap L.A. Moscow: ed. KMK, 2018. 688 p.

Thomas P.A., Room P.M. Taxonomy and control of *Salvinia molesta* // *Nature*. 1986. Vol. 320. P. 581–584.

Villamagna A.M., Murphy B.R. Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): A review // *Freshw. Biol.* 2010. Vol. 55. No.2. P. 282–298. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2009.02294.x.

Yan S., Guo J.Y. *Water Hyacinth: Environmental Challenges, Management and Utilization*. Florida: CRC Press, 2017. 345 p.

Thomas P.A., Room P.M. Taxonomy and control of *Salvinia molesta*. *Nature*, 1986, vol. 320, pp. 581–584.

Victor K.K., Seka Y., Norbert K.K., Sanogo T.A., Celestin A.B. Phytoremediation of wastewater toxicity using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes*). *International Journal of Phytoremediation*, 2016, vol. 18, no. 10, pp. 949–955.

Villamagna A.M., Murphy B.R. Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): A review. *Freshw. Biol.*, 2010, vol. 55, no. 2, pp. 282–298. DOI:10.1111/j.1365-2427.2009.02294.x.

Yan S., Guo J.Y. *Water Hyacinth: Environmental Challenges, Management and Utilization*. Florida: CRC Press, 2017. 345 p. DOI: 10.1201/9781315151809.