

ОБЗОРЫ

УДК 574.636

Д. П. Карabanов, Ю. В. Кодухова

ТРАДИЦИОННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ЧУЖЕРОДНЫМИ ВИДАМИ РЫБ^{1,2}

Управление численностью чужеродных видов является сложной, но важной задачей в комплексе мер по сохранению биологического разнообразия вследствие значительного потенциального экономического и экологического ущерба, наносимого видами-вселенцами. Определение оптимальной стратегии управления численностью многих рыб-интродуцентов требует значительных затрат и разнообразных моделей регуляции. Предлагается ряд возможных подходов (химические, физические, биологические и генетические методы) к реализации контроля их численности. Отмечается, что генетические методы борьбы с чужеродными видами, являющиеся перспективными, из-за недостаточного внимания со стороны ученых, хозяйствующих и правительственных организаций, развиваются крайне медленно.

Ключевые слова: биологические инвазии, рыбы, контроль численности, пол, «тройные» гены.

Введение

За последние полвека крайне актуальной стала проблема проникновения живых организмов за пределы их исторических ареалов и последующей натурализации. Немалую роль в этом процессе играет деятельность человека. Постоянно усиливающееся антропогенное преобразование естественной среды в совокупности с глобальными геоклиматическими изменениями, резко активизировавшимися в последнее десятилетие XX в., вызвали ускорение процессов трансформации ареалов многих видов растений и животных [1, 2]. Человек не только проводит массовую акклиматизацию определенных растений и животных (культивирование картофеля, сои, аквакультура лососевых), но и вызывает случайные интродукции «попутных» видов (перенос дрейссены судами, случайные интродукции рыб при акклиматизации объектов аквакультуры). Вследствие деятельности человека изменяются также условия среды, в результате чего создаются условия для увеличения ареала некоторых видов (экспансия черноморско-каспийской тюльки после строительства каскада водохранилищ на р. Волге).

В 1992 г. в Рио-де-Жанейро была подписана международная Конвенция о биологическом разнообразии (КБР), ратифицированная Российской Федерацией в 1995 г. В соответствии со ст. 8*h* КБР, страны-участницы обязаны «предотвращать интродукции, контролировать или уничтожать те чужеродные виды, которые угрожают экосистемам, местам обитания или видам». В развитие этих решений на 6-й Конференции Сторон КБР (Решение VI/23, 2002, Гаага) утверждены «Руководящие принципы по предотвращению интродукций и уменьшению воздействий чужеродных видов, которые угрожают экосистемам, местообитаниям или видам». Не менее пристальное внимание чужеродным видам уделено в «Стратегическом плане сохранения биоразнообразия на 2011–2020 гг.» КБР (Решение X/2, 2010, Нагоя). Последовательное выполнение обязательств Российской Федерации по КБР отражено в разработанной Национальной

¹ Авторы выражают глубокую благодарность канд. биол. наук А. А. Махрову и канд. биол. наук В. С. Артамоновой (лаборатория экологии водных сообществ и инвазий Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова) за ценные замечания, дополнения и постоянные консультации на всех этапах работы.

² Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 14-04-31112_мол_а.

стратегии и плане действий по сохранению биологического разнообразия России, одно из главных мест в котором занимает проблема биологических инвазий. Эти подходы закреплены в «Экологической доктрине Российской Федерации», одобренной распоряжением Правительства Российской Федерации от 31.08.2002 № 1225-р. Как отмечается в Пятом национальном докладе «Сохранение биоразнообразия в Российской Федерации-2014» [3], в настоящее время наблюдается рост интенсивности инвазий чужеродных видов растений и животных в сухопутные и морские экосистемы, а одной из основных текущих и перспективных угроз для биологического разнообразия России являются инвазии чужеродных видов (доступ ко всем документам КБР открыт на сайте <http://www.cbd.int/>).

Непредсказуемы экологические последствия и экономический эффект от натурализации чужеродных объектов флоры и фауны. Например, широкое распространение аквакультуры и успешная интродукция камчатского краба и горбуши в Северо-Западном регионе, кефали в Каспийском и пиленгаса в Азовском морях имеют большое экономическое и социальное значение. Вместе с тем только на территории США экономический ущерб, наносимый 50 тыс. адвентивных видов животных и растений, составляет более 120 млрд долл. в год, а более 40 % нативных видов находятся под неблагоприятным воздействием интродуцентов [4]. Около половины рыб ихтиофауны Австралии связаны своим происхождением и изменением ареала с деятельностью человека, а ущерб, наносимый интродуцентами биоразнообразию и экономике этой страны, не менее серьезен, чем в США [2].

Менее изучен, но не менее серьезен экономический урон, который наносят чужеродные виды, вредители и сорняки в Европе и России [5]. Наиболее остро стоит вопрос о предотвращении вселения и борьбе с последствиями интродукции адвентивных растений в сельском хозяйстве. Неконтролируемая гибридизация, конкуренция между вселенцем и нативным видом, привнесенные заболевания и паразитарные инфекции, отсутствие контроля над распространением инвазивных растений приводят не только к снижению объемов производства сельскохозяйственной продукции, но и к деградации и так обедненных агроэкосистем [6].

Таким образом, не вызывает сомнения необходимость разработки мер по минимизации ущерба, наносимого интродукцией чужеродных видов рыб, в частности амурского чебачка, в водных экосистемах Европы. В целом эта задача состоит из двух больших разделов: предотвращение вселения и борьба с уже интродуцировавшимся видом.

Борьба с чужеродными видами рыб

Традиционные методы. Подавление и искоренение уже успешно натурализовавшихся вселенцев – технически самый сложный и наиболее затратный метод. Эффективное влияние на вселенцев, как правило, достигается за счет использования целого ряда комплексных методов (механические, химические и биологические средства контроля, а также контроль и регулирование мест обитания) [7]. Следует отметить, что все предлагаемые методы имеют разную стоимость и ограничения в применении. Крайне затруднена борьба с вселенцами, когда наносится прямой либо опосредованный ущерб редким либо особо охраняемым видам. В случае же подавления вселенцев в коммерческих хозяйствах возможно использование более массовых и дешевых способов, например изъятие рыб при тотальном осушении прудов [8].

Наиболее масштабные методы контроля над вселенцами связаны с изменением и регулированием мест обитания. Это процедуры по регулярному осушению прудовых хозяйств, своевременная замена фильтров водоподачи, устройство и поддержание в рабочем состоянии рыбозаградителей на водоподаче и водосбросе. Оптимально применение этих методов на объектах аквакультуры и рекреационных участках. Очень эффективны методы по ограничению распространения чужеродных рыб, прежде всего лососей, на небольших реках [9]. В данном случае применяются специальные рыбопропускные заградители, на которых происходит сортировка аборигенных и чужеродных рыб с целью изъятия последних. Есть предположение, что в расселении принимают участие особи определенного генотипа [10], поэтому отбор именно активно расселяющихся особей может иметь существенное значение в ограничении саморасселения интродуцентов. Однако использование таких заградителей существенно ухудшает условия обитания нативных видов, в связи с чем возникает опасность генетического вырождения небольших местных популяций, которые при этом попадают практически в полную изоляцию [11]. При ин-

продукции мелких «сорных» рыб, таких как амурский чебачок (*Pseudorasbora parva*) или ротанголовешка (*Percottus glenii*), данный метод эффективен лишь в случае тотального осушения прудов в прудовых хозяйствах или рекреационных зонах либо в качестве вспомогательных процедур, противостоящих заносу рыб из прудов в реки. В последнем случае оптимальным будет переход на замкнутую систему водопользования.

Еще одним способом массового уничтожения вселенцев является метод химической борьбы. Это наиболее эффективный, но и максимальный по негативному влиянию на экосистемы метод. В небольших прудах, водохранилищах и озерах возможно применение различных ихтиоцидов, чаще всего – ротенона [12], умеренно токсичного для теплокровных, с последующим зарыблением водоема местными либо коммерчески ценными видами рыб. Наиболее эффективные хлорорганические пестициды (токсафен, эндрин, эндосульфат) в настоящее время практически не используют в связи с их высокой токсичностью и устойчивостью к разложению в природных условиях, хотя полностью исключить возможность их применения в чрезвычайных ситуациях нельзя. Химический способ борьбы с интродуцентами очень дорог, и, кроме того, его применение возможно только на некрупных водоемах. Тем не менее его достаточно активно используют в Норвегии, когда в реку проникают не просто чужеродные рыбы, а носители опасных инфекций, например, для борьбы с опасным паразитом лососей *Gyrodactylus salaris*, который с середины 1970-х гг. стал национальным бедствием этой страны [13].

При химическом контроле численности чужеродных видов рыб всегда следует учитывать не только экономическую выгоду, которую приносит применение ихтиоцидов, но и экологические последствия этих действий. Даже относительно безопасный ротенон оказывает значительное негативное влияние на водные экосистемы (прежде всего, вызывает гибель беспозвоночных), возрастающее при повышении температуры [14]. Минимизировать природный ущерб, наносимый применением химикатов, можно при сочетанном воздействии на вселенца химического и биологического контроля [15], когда, например, вредитель ослабляется инсектицидом и, соответственно, становится более доступным для хищников. К сожалению, для гидробионтов такая перспективная методика еще не разработана.

Другим, индивидуальным, методом подавления вселенцев служит комплекс мер физического изъятия чужеродных видов. Изъятие рыб можно проводить совместно с осушением рыбоводных прудов и небольших водоемов. Возможно также применение активных орудий лова (тралы, невода), но при этом необходимо изымать чужеродных рыб, а аборигенные виды отпускать обратно в водоем. Такие мероприятия можно проводить на акватории небольших городских прудов с привлечением волонтеров природоохранных общественных организаций. Возможен также отлов вселенцев с применением электролова, мелкочейстых жаберных сетей, ловушек, удочек. Применение мелкочейстых сетей наносит большой ущерб водному сообществу, т. к., кроме вселенцев, в сети могут попадать представители аборигенной фауны или мальки товарных рыб. Вместе с тем в водоемах, оккупированных вселенцами, применение данных орудий лова вполне оправдано, т. к. это один из самых низкзатратных способов лова. В случае, когда вселенец может представлять промысловую ценность либо интерес для спортивного рыболовства, есть возможность полностью изъять его усилиями рыболовов-любителей. Примером такого эффективного сотрудничества в природоохранной сфере служит вылов рыболовами-спортсменами интродуцированных в Австралии лососевых (кумжа *Salmo trutta* и радужная форель *Parasalmo mykiss*), наносивших существенный урон аборигенной ихтиофауне [16]. В данном случае проводился селективный отбор исключительно адвентивных видов.

Биологический подход. Все рассмотренные выше методы борьбы с чужеродными видами рыб имеют ряд недостатков, ограничивающих их широкое применение. Некоторые из них слишком дороги, другие требуют значительных трудовых затрат, и все в той или иной степени наносят урон нативным сообществам. Более прогрессивен другой комплекс мер, который условно относят к биологическим методам борьбы. Это паразитологические методы, отношения хищник-жертва и самый сложный, но, на наш взгляд, и один из самых эффективных – метод воздействия на генофонд чужеродных видов.

Самым известным и наиболее разработанным можно считать метод регуляции численности и популяционной структуры адвентивных видов за счет популяции хищных рыб (аборигенов либо вселенцев). Например, амурский чебачок в историческом ареале находится под посто-

янным гнетом 15 массовых видов разнообразных амурских хищников из 9 различных семейств [17]. В природных водоемах Европы (а тем более в прудовых хозяйствах) численность и разнообразие хищников несравненно меньше. Вместе с тем главным фактором, определяющим выживание вселенцев в естественных условиях, являются именно взаимоотношения интродуцента с нативным ихтиоценозом [18]. Из-за особенностей биологии амурского чебачка его роль как потенциального кормового объекта хищных видов рыб невелика. Практически единственный пример, когда амурский чебачок стал играть значимую роль в питании хищников, это аквакультура акклиматизированного судака (*Sander lucioperca*) и, в меньшей степени, змеоголова (*Channa argus*) в Средней Азии [19]. В некоторых водоемах Европы амурский чебачок также может составлять существенную долю в питании окуня (*Perca fluviatilis*), щуки (*Esox lucius*) и судака (*Sander lucioperca*) [20], вследствие чего целесообразно использование аборигенных хищников для контроля над этим вселенцем. Однако эти данные отражают лишь локальные условия, а не общую тенденцию в европейских водоемах, когда переход хищников на питание чебачком связан с отсутствием других кормовых объектов. Это предположение подтверждают данные эксперимента, в котором было показано, что возможна и отрицательная избираемость (избегание) хищником амурского чебачка в условиях доступности аборигенных видов [21]. С особой осторожностью следует подходить к дополнительной интродукции хищников, т. к. в целом трофические сети европейских водоемов за последнее время и так значительно трансформировались под воздействием чужеродных видов, из-за чего привнесение дополнительных консументов-хищников может отрицательно сказаться на устойчивости водных экосистем в целом.

Другим способом биологической борьбы с чужеродными видами может быть паразитологический метод подавления популяции интродуцента специфичными аборигенными либо чужеродными паразитами. Это еще более сложный, но, при правильном подходе, очень эффективный метод. В случае сложившейся паразитарной системы существуют сформированные многоступенчатые уровни адаптаций паразита и хозяина, в результате чего сохраняется динамическое равновесие, обеспечивающее существование данной системы. При успешной интродукции можно предположить, что местные паразиты не способны привести к гибели вселенца (иначе интродукция не произошла бы совсем). Возможно также подавление вселенца привнесенными паразитами или болезнями. Образцом этому служит ставший уже классическим пример борьбы с диким кроликом в Австралии и Новой Зеландии завезенным из Бразилии вирусным миксоматозом. Однако применение данного метода для борьбы с чужеродными видами рыб имеет ряд ограничений. Известно, что большинство паразитов карповых рыб имеет низкую специфичность и способно поражать значительный круг хозяев, в связи с чем вселенец может выступать как очаг заражения для аборигенных видов. Так, во Франции амурский чебачок способен выступать в качестве распространителя опасного паразита рыб *Anguillicola crassus* [22]. В Великобритании амурский чебачок служит природным очагом и распространителем инфекционной болезни плавательного пузыря рыб, вызываемой *Sphaerothecum destruens*, крайне опасного как для местных видов рыб, так и для лососей – объектов аквакультуры [23]. Следует также отметить, что привнесение в водные экосистемы чужеродных видов рыб и сопутствующих паразитов может привести к существенным изменениям генетического разнообразия аборигенных видов [13], что особенно важно в аквакультуре лососевых и для сохранения редких видов.

Таким образом, успешная акклиматизация вселенцев в водные экосистемы способна значительно изменить паразитологическую ситуацию в водоеме в целом. Несомненно, что применение паразитарного способа борьбы с интродуцентами крайне перспективно, но ему должно предшествовать доскональное изучение биологических особенностей как самого паразита, так и объектов аборигенной фауны.

Перспективные методы. Наиболее сложным, но вместе с тем и самым эффективным из биологических методов борьбы с рыбами-вселенцами может служить способ изменения генетической устойчивости популяции путем нарушения репродукции методами хромосомной инженерии. Самцы у многих рыб-вселенцев (амурский чебачок, ротан-головешка) – агрессивные рыбки, конкурирующие за самок, активно охраняющие свою территорию и потомство. В этом случае выпуск стерильных самцов может привести к значительному увеличению внутривидовой конкуренции, обострению борьбы за ресурсы и половых партнеров, разбалансировке генетиче-

ского равновесия в популяции вселенцев и, как следствие, к значительному сокращению численности вплоть до полного исчезновения новообразованных популяций.

Применение методов хромосомной инженерии открывает большие возможности в нарушении полового состава популяции чужеродных видов рыб, не нанося урона аборигенным видам. Одним из наиболее простых и эффективных методов служит получение и выпуск в водоемы триплоидных рыб. Методам получения полиплоидных рыб посвящен целый ряд исследований [24]. Технология промышленного получения триплоидов позволяет создавать значительные экспериментальные партии стерильных рыб, которые можно без опасения выпускать в естественные водоемы с целью повышения внутривидовой конкуренции и ослабления популяции вселенцев. Вместе с тем массовому выпуску триплоидных рыб в водоемы должно предшествовать изучение их физиологических и репродуктивных особенностей. О безопасности этого метода свидетельствует то, что гонады у триплоидных самок практически не развиваются, а гонады самцов-триплоидов имеют множество аномалий развития, и даже в случае успешного нереста потомство триплоидных рыб, как правило, нежизнеспособно [25].

Для получения рыб-триплоидов применяют различные шоковые воздействия на икру рыб в течение первых 20–30 минут после оплодотворения. Наиболее качественное потомство получается при применении теплового шока с перепадом значений температуры около +10...+15 °С на протяжении 15–30 минут. Для каждого конкретного вида вселенцев данные параметры носят рекомендательный характер и должны подбираться эмпирически. Имеется закономерность – чем выше перепад значений температуры и больше время экспозиции, тем выше выход триплоидов, но и тем ниже выживаемость икры [26]. Следует также учитывать, что при использовании термошока даже на лососевых, которые хорошо изучены, наблюдается значительный отход икры, а выход триплоидов в массе не превышает 80 % [24]. Преимуществами получения триплоидов в массовых количествах являются простота работы и отсутствие необходимости использовать сложное оборудование, что позволяет минимизировать расходы по осуществлению данной деятельности.

Другим, более продуктивным методом, все чаще используемым в аквакультуре, является метод шока путем повышения гидростатического давления [27]. Оплодотворенную икру помещают в барокамеру и после формирования веретена деления мейоза разрушают его путем резкого повышения давления. Время инкубации, величина давления и экспозиция подбираются для разных видов экспериментально. При применении этого метода отход икры и доля аберраций значительно меньше, чем при применении термошока, тогда как выход триплоидов в обоих случаях примерно одинаков. Широкое применение метода гидростатического давления пока сдерживается дороговизной используемого специализированного оборудования, сложностью подбора условий и контроля работ.

Крайне перспективный, но еще практически не опробованный метод подавления популяций чужеродных рыб – метод нарушения полового состава популяции путем внедрения особей, несущих «тройную» Y-хромосому. По этой технологии в водоемы, заселенные чужеродными видами, вселяют рыб с двумя Y-хромосомами, но фенотипических самок. Изменение пола обеспечивается обработкой икринок синтетическими эстрогенами, например диэтилстильбэстролом [28]. Этот процесс включает в себя два этапа феминизации рыб, в генотипе которых присутствует Y-хромосома. Вначале обычных самцов инвертируют в самок, затем проводят скрещивание с нормальными самцами. Из этого потомства отбирают суперсамцов – рыб с генотипом YY (составляют около ¼ потомства). На следующем этапе этих самцов фертилизуют, превращая в самок с генотипом YY. К настоящему времени эта технология дополнена методом добавочного отбора и по аутосомам, несущим половые гены [29], что позволяет еще более эффективно применять этот метод для борьбы с чужеродными видами. Как показывают расчеты, проведенные в [28], в потомстве рыб, несущих «тройную» Y-хромосому, должны появляться только диплоидные самцы и суперсамцы, в результате чего сильный дисбаланс в соотношении полов должен привести к падению численности популяции.

Несмотря на отличные перспективы, данный метод имеет ряд существенных ограничений. В первую очередь это ограничения методического плана: предложенная технология крайне трудоемка. Две последовательные феминизации и сложности отбора суперсамцов позволяют обеспечить относительно небольшой конечный выход рыб с «тройной» Y-хромосомой. Другой

возможной проблемой могут быть биологические особенности полученного потомства. Не факт, что инвертированные в суперсамцов рыбы «удовлетворяются» предложенной им ролью самок, а не вступят в борьбу с другими самцами. Таким образом, предложенная технология требует существенной экспериментальной апробации, и в случае подтвержденной эффективности и экономической оправданности применение рыб с «тройной» Y-хромосомой может внести существенный вклад в борьбу с биологическими инвазиями.

Наиболее перспективным способом в подавлении репродуктивного баланса в популяциях чужеродных видов, на наш взгляд, является *метод внедрения триплоидных суперсамцов* [24]. Данный метод тоже довольно трудоемкий и требует значительных затрат и высококвалифицированного персонала, однако в результате получается совместить достоинства обеих рассмотренных выше технологий.

В первом варианте требуется создание маточного стада тетраплоидных самцов. Их можно получить из диплоидной зиготы, если подавить первое деление зиготы повышенным гидростатическим давлением или тепловым шоком. Однако выживаемость икры и созревание тетраплоидов довольно низки [30]. При скрещивании тетраплоидных самцов и обычных самок половина получаемых в потомстве самцов будет представлена триплоидными суперсамцами с генотипом ХУУ. Хотя получение, содержание и использование в скрещиваниях тетраплоидных рыб довольно обременительны, однако именно этот метод позволяет получить наибольший выход триплоидов.

При другом подходе вначале пол обычного самца с помощью диэтилстильбэстрола инвертируется и получившаяся самка с генотипом ХУ скрещивается с обычным самцом. Триплоидизация потомства проводится путём термошока, который блокирует второе деление мейоза в икринке. В этом случае в потомстве с равной частотой появятся особи ХХХ, ХХУ, УУУ, ХУУ [24]. Данный метод имеет свои преимущества: он дает значительный выход триплоидных суперсамцов и может сочетаться с работами по получению особей с «тройной» Y-хромосомой. Вместе с тем и предлагаемый способ имеет все те же обозначенные ранее производственные сложности и нуждается в методической доработке и тестировании.

Предлагаемые технологии еще следует опробовать в экспериментальных условиях, чтобы определить, какой из способов получения триплоидных суперсамцов более рентабелен при внедрении в практику. В любом случае, по нашему мнению, наибольшие перспективы для подрыва популяций чужеродных видов имеет именно выпуск триплоидных суперсамцов. Это обусловлено рядом причин. Так, триплоиды практически стерильны, благодаря чему достигают больших размеров и характеризуются высоким темпом роста и большей продолжительностью жизни. Возможно, что триплоидные суперсамцы будут отличаться и повышенной агрессивностью, в результате чего в популяции интродуцента создастся крайне неблагоприятный половой баланс, способный привести к депрессии популяции. Отметим, что специальных исследований по изучению поведения особей с хромосомным полиморфизмом на рыбах не проводилось, но есть множество аналогичных работ, выполненных на млекопитающих. Косвенно такое предположение подтверждается данными из поведенческой генетики человека. Так, при синдроме ХУУ наиболее частым признаком у больного является высокий рост, часто обнаруживается повышение уровня андрогенов и лютеинизирующего гормона. Наличие добавочной Y-хромосомы, как правило, коррелирует с агрессивным поведением [31]. Вероятно, основное значение в определении пола у рыб связано с количеством половых гормонов, кодируемых определенными локусами гоносом или аутосом [32]. Удвоение числа мужских половых хромосом у триплоидных суперсамцов, вероятно, также приведет к увеличению выработки андрогенов. В свою очередь, именно андрогены, и прежде всего тестостерон, отвечают за агрессивное поведение у рыб [33].

Заключение

Таким образом, можно отметить, что важным элементом природоохранной политики является не только определение путей вселения и отдаленных экологических последствий, вызываемых интродукцией, но и разработка эффективных стратегий для контроля над вселенцами. Прежде всего это разработка методов профилактики, раннего выявления и искоренения инвазивных видов. В подавляющем большинстве случаев оптимальным было бы предотвращение инвазии. Однако в случае интродукции столь неприметной и малоценной рыбки, как амурский чебачок либо ротан-головешка приходится иметь дело с уже сформировавшимися популяциями.

В данном случае необходимо выяснить, что экономически выгоднее – бороться с интродуцентом либо смириться с инвазией. Несомненно, что в последнем случае при сохранении status quo создается резерват, из которого возможно вторичное расселение интродуцентов (как это происходит с возникшими моновидовыми городскими прудами, населенными исключительно ротаном-головешкой). Вероятно, во многих случаях именно локализация вселенцев наиболее экономически оправдана, но при этом крайне важно осуществлять регулярные работы по контролю над их количеством с целью предотвращения возможных вспышек численности, для чего наиболее эффективным, на наш взгляд, будет использование биологических методов контроля и борьбы с чужеродными видами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дгебуадзе Ю. Ю. Проблемы инвазий чужеродных организмов / Ю. Ю. Дгебуадзе // Экологическая безопасность и инвазии чужеродных организмов. М.: ИПЭЭ РАН, IUCN (МСОП), 2002. С. 11–14.
2. Lintermans M. Human-assisted dispersal of alien freshwater fish in Australia / M. Lintermans // New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research. 2004. Vol. 38, no. 3. P. 481–501.
3. Пятый национальный доклад «Сохранение биоразнообразия в Российской Федерации-2014». М.: Мин-во природ. ресурсов и экологии РФ, 2014. 49 с.
4. Pimentel D. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States / D. Pimentel, R. Zuniga, D. Morrison // Ecological Economics. 2005. Vol. 52, no. 3. P. 273–288.
5. Виноградова Ю. К. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России) / Ю. К. Виноградова, С. П. Майоров, Л. В. Хорун. М.: ГЕОС, 2009. 494 с.
6. Holzmüller E. J. Invasive plant conundrum: What makes the aliens so successful? / E. J. Holzmüller, S. Jose // Journal of Tropical Agriculture. 2009. Vol. 47, no. 1–2. P. 18–29.
7. Invasive alien species: a toolkit of best prevention and management practices / Eds. R. Wittenberg, M. J. W. Cock. Wallingford, UK: CABI, 2001. P. 1–228.
8. Lammens E. H. R. R. The central role of fish in lake restoration and management / E. H. R. R. Lammens // Hydrobiologia. 1999. Vol. 395–396. P. 191–198.
9. Fausch K. D. The invasion versus isolation dilemma: tradeoffs in managing native salmonids with barriers to upstream movement / K. D. Fausch, B. E. Rieman, J. B. Dunham, M. K. Young, D. P. Peterson // Conservation Biology. 2009. Vol. 23, no. 4. P. 859–870.
10. Dlugosch K. M. Genotypes on the move: some things old and some things new shape the genetics of colonization during species invasions / K. M. Dlugosch, C. G. Hays // Molecular Ecology. 2008. Vol. 17, no. 21. P. 4583–4585.
11. Novinger D. C. Isolation management with artificial barriers as a conservation strategy for cutthroat trout in headwater streams / D. C. Novinger, F. J. Rahel // Conservation Biology. 2003. Vol. 17, no. 3. P. 772–781.
12. Shapiro J. Lake restoration by biomanipulation: Round Lake, Minnesota, the first two years / J. Shapiro, D. I. Wright // Freshwater Biology. 1984. Vol. 14, no. 4. P. 371–383.
13. Artamonova V. S. Response of the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) population of the Keret River to the invasion of parasite *Gyrodactylus salaris* Malmberg / V. S. Artamonova, A. A. Makhrov, B. S. Shulman, O. V. Khaimina, A. O. Yurtseva, D. L. Lajus, V. A. Shirokov, I. L. Shurov // Russian Journal of Biological Invasions. 2011. Vol. 2, no. 2–3. P. 73–80.
14. Kjaerstad G. Effects of Rotenone Treatment on Lotic Invertebrates / G. Kjaerstad, J. V. Arnekleiv // International Review of Hydrobiology. 2011. Vol. 96, no. 1. P. 58–71.
15. Marten A. L. An options based bioeconomic model for biological and chemical control of invasive species / A. L. Marten, C. C. Moore // Ecological Economics. 2011. Vol. 70, no. 11. P. 2050–2061.
16. Jackson J. E. Alien salmonids in Australia: impediments to effective impact management, and future directions / J. E. Jackson, T. A. Raadik, M. Lintermans, M. Hammer // New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research. 2004. Vol. 38, no. 3. P. 447–455.
17. Никольский Г. В. Рыбы бассейна Амура. Итоги Амурской ихтиологической экспедиции, 1945–1949 гг. / Г. В. Никольский. Moscow, Изд-во АН СССР, 1956. 551 р.
18. Жаков Л. А. Численность и структура популяций хищных рыб-аборигенов, как условие, лимитирующее эффект интродукции рыб: автореф. ... дис. канд. биол. наук / Л. А. Жаков. Л.: ЛГУ, 1966. 16 с.
19. Рыбы Казахстана. Т. 5. Аклиматизация, промысел / под ред. Е. В. Гвоздева, В. П. Митрофанова. Алма-Ата: Гылым, 1992. 464 с.
20. Musil J. Piscivorous fishes diet dominated by the Asian cyprinid invader, topmouth gudgeon (*Pseudorasbora parva*) / J. Musil, Z. Adamek // Biologia, Bratislava. 2007. Vol. 62, no. 4. P. 488–490.
21. Adamek Z. Prey selectivity in wels (*Silurus glanis*) and african catfish (*Clarias gariepinus*) / Z. Adamek, K. Fasail, M. A. Siddiqui // Ribarstvo. 1999. Vol. 57, no. 2. P. 47–60.

22. Cesco H. *Pseudorasbora parva* (Teleostei, Cyprinidae), an invasive species, a new vector for the maintenance and dissemination of anguillicolosis in France? / H. Cesco, A. Lambert, A. J. Crivelli // *Parasite*. 2001. Vol. 8, no. 1. P. 75–76. (In French).
23. Gozlan R. E. Biodiversity: Disease threat to European fish / R. E. Gozlan, S. St-Hilaire, S. W. Feist, P. Martin, M. L. Kent. *Nature*, 2005. Vol. 435, no. 435 (7045). P. 1046.
24. Makhrov A. A. Genetic methods for the control of alien species / A. A. Makhrov, D. P. Karabanov, Yu. V. Kodukhova // *Russian Journal of Biological Invasions*. 2014. Vol. 5, no. 3. P. 194–202.
25. Benfey T. J. Use of sterile triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) for aquaculture in New Brunswick, / T. J. Benfey // *Canada. Journal of Marine Science*. 2001. Vol. 58, no. 2. P. 525–529.
26. Thorgaard G. H. Polyploidy induced by heat shock in rainbow trout / G. H. Thorgaard, M. E. Jazwin, A. R. Stier // *Transactions of American Fisheries Society*. 1981. Vol. 110, no. 4. P. 546–550.
27. Piferrer F. Polyploid fish and shellfish: Production, biology and applications to aquaculture for performance improvement and genetic containment / F. Piferrer, A. Beaumont, J.-C. Falguiere, M. Flajshans, P. Haffray, L. Colombo // *Aquaculture*. 2009. Vol. 293, no. 3–4. P. 125–156.
28. Gutierrez J. B. A model describing the effect of sex-reversed YY fish in an established wild population: the use of a Trojan Y chromosome to cause extinction of an introduced exotic species / J. B. Gutierrez, J. L. Teem // *Journal of Theoretical Biology*. 2006. Vol. 241, no. 2. P. 333–341.
29. Cotton S. Control of introduced species using Trojan sex chromosomes / S. Cotton, C. Wedekind // *Trends in Ecology and Evolution*. 2007. Vol. 22, no. 9. P. 441–443.
30. Komen H. Androgenesis, gynogenesis and the production of clones in fishes: a review / H. Komen, G. H. Thorgaard // *Aquaculture*. 2007. Vol. 269, no. 1–4. P. 150–173.
31. Gotz M. J. Criminality and antisocial behaviour in unselected men with sex chromosome abnormalities / M. J. Gotz, E. C. Johnstone, S. G. Ratcliffe // *Psychological Medicine*. 1999. Vol. 29, no. 4. P. 953–962.
32. Кирпичников В. С. Генетика и селекция рыб / В. С. Кирпичников. Л.: Наука, 1987. 520 с.
33. Aubin-Horth N. Masculinized dominant females in a cooperatively breeding species / N. Aubin-Horth, J. K. Desjardins, Y. M. Martei, S. Balshine, H. A. Hofmann // *Molecular Ecology*. 2007. Vol. 16, no. 7. P. 1349–1358.

Статья поступила в редакцию 12.01.2015

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Карabanov Дмитрий Павлович – Россия, 152742, Ярославская обл., поселок Борок; Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанова Российской академии наук, канд. биол. наук; старший научный сотрудник лаборатории экологии рыб; dk@ibiw.yaroslavl.ru.

Кодухова Юлия Владимировна – Россия, 152742, Ярославская обл., поселок Борок; Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанова Российской академии наук; канд. биол. наук; старший научный сотрудник лаборатории экологии рыб; jukod@ibiw.yaroslavl.ru.



D. P. Karabanov, Yu. V. Kodukhova

TRADITIONAL AND ADVANCED METHODS OF CONTROL OF INVASIVE FISH SPECIES

Abstract. Control of invasive species abundance is a complicated and, at the same time, important task in the complex of measures directed towards preservation of the biological diversity due to significant potential economic and ecological harm from invaders. Choice of optimum strategy of the abundance control takes a lot of efforts and requires various models of regulation for many invasive species. A number of possible approaches (chemical, physical, biological and genetical methods) to control alien species abundance is presented. It is stated that genetic methods of alien species control, being promising, are developing slowly due to the lack of attention from the scientists, businesses and government organizations.

Key words: biological invasions, fish, population control, sex, "Trojan" genes.

REFERENCES

1. Dgebuadze Iu. Iu. Problemy invazii chuzherodnykh organizmov [Problems of invasions of alien organisms]. *Ekologicheskaya bezopasnost' i invazii chuzherodnykh organizmov*. Moscow, IPEE RAN, IUCN (MSOP), 2002. P. 11–14.
2. Lintermans M. Human-assisted dispersal of alien freshwater fish in Australia New Zealand. *Journal of Marine and Freshwater Research*, 2004, vol. 38, no. 3, pp. 481–501.
3. *Piatyi natsional'nyi doklad «Sokhranenie bioraznoobraziia v Rossiiskoi Federatsii-2014»* [Fifth National Report "Conservation of biodiversity in the Russian Federation-2014"]. Moscow, Ministerstvo prirodnykh resursov i ekologii Rossiiskoi Federatsii, 2014. 49 p.
4. Pimentel D., Zuniga R., Morrison D. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological economics*, 2005, vol. 52, no. 3, pp. 273–288.
5. Vinogradova Iu. K., Maierov S. R., Khorun L. V. *Chernaia kniga flory Srednei Rossii (Chuzherodnye vidy rastenii v ekosistemakh Srednei Rossii)* [Black book of flora in the Middle Russia (Invasive plants in the ecosystems of the Middle Russia)]. Moscow, GEOS Publ., 2009. 494 p.
6. Holzmüller E. J., Jose S. Invasive plant conundrum: What makes the aliens so successful? *Journal of Tropical Agriculture*, 2009, vol. 47, no. 1–2, pp. 18–29.
7. *Invasive alien species: a toolkit of best prevention and management practices*. Eds. R. Wittenberg, M. J. W. Cock. Wallingford, UK: CABI, 2001. P. 1–228.
8. Lammens E. H. R. R. The central role of fish in lake restoration and management. *Hydrobiologia*, 1999, vol. 395–396, pp. 191–198.
9. Fausch K. D., Rieman B. E., Dunham J. B., Young M. K., Peterson D. P. The invasion versus isolation dilemma: tradeoffs in managing native salmonids with barriers to upstream movement. *Conservation Biology*, 2009, vol. 23, no. 4, pp. 859–870.
10. Dlugosch K. M., Hays C. G. Genotypes on the move: some things old and some things new shape the genetics of colonization during species invasions. *Molecular Ecology*, 2008, vol. 17, no. 21, pp. 4583–4585.
11. Novinger D. C., Rahel F. J. Isolation management with artificial barriers as a conservation strategy for cutthroat trout in headwater streams. *Conservation Biology*, 2003, vol. 17, no. 3, pp. 772–781.
12. Shapiro J., Wright D. I. Lake restoration by biomanipulation: Round Lake, Minnesota, the first two years. *Freshwater Biology*, 1984, vol. 14, no. 4, pp. 371–383.
13. Artamonova V. S., Makhrov A. A., Shulman B. S., Khaimina O. V., Yurtseva A. O., Lajus D. L., Shirokov V. A., Shurov I. L. Response of the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) population of the Keret River to the invasion of parasite *Gyrodactylus salaris* Malmberg. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2011, vol. 2, no. 2–3, pp. 73–80.
14. Kjaerstad G., Arnekleiv J. V. Effects of Rotenone Treatment on Lotic Invertebrates. *International Review of Hydrobiology*, 2011, vol. 96, no. 1, pp. 58–71.
15. Marten A. L., Moore C. C. An options based bioeconomic model for biological and chemical control of invasive species. *Ecological Economics*, 2011, vol. 70, no. 11, pp. 2050–2061.
16. Jackson J. E., Raadik T. A., Lintermans M., Hammer M. Alien salmonids in Australia: impediments to effective impact management, and future directions. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2004, vol. 38, no. 3, pp. 447–455.
17. Nikol'skii G. V. *Ryby basseina Amura. Itogi Amurskoi ikhtologicheskoi ekspeditsii 1945–1949* [Fishes in the Amur basin. Results of the Amur ichthyological expedition in 1945–1949]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1956. 551 p.
18. Zhakov L. A. Chislennost' i struktura populiatsii khishchnykh ryb-aborigenov, kak uslovie, limitiruiushchee effekt introduktsii ryb. Avtoreferat dis. kand. biol. nauk [Number and composition of populations of piscivorous aboriginal fishes as a condition limiting the effect of fish invasion. Abstract of dis. cand. biol. sci.]. Leningrad, LGU, 1966. 16 p.
19. Ryby Kazakhstana. Vol. 5. *Akklimatizatsiia, promysel* [Acclimatization, fishing]. Pod redaktsiei E. V. Gvozdeva, V. P. Mitrofanova. Alma-Ata, Gylym Publ., 1992. 464 p.
20. Musil J., Adamek Z. Piscivorous fishes diet dominated by the Asian cyprinid invader, topmouth gudgeon (*Pseudorasbora parva*). *Biologia*, Bratislava. 2007, vol. 62, no. 4, pp. 488–490.
21. Adamek Z., Fasail K., Siddiqui M. A. Prey selectivity in wels (*Silurus glanis*) and african catfish (*Clarias gariepinus*). *Ribarstvo*, 1999, vol. 57, no. 2, pp. 47–60.
22. Cesco H., Lambert A., Crivelli A. J. *Pseudorasbora parva* (Teleostei, Cyprinidae), an invasive species, a new vector for the maintenance and dissemination of anguillicolosis in France? *Parasite*, 2001, vol. 8, no 1, pp. 75–76. (In French).
23. Gozlan R. E., St-Hilaire S., Feist S. W., Martin P., Biodiversity M. L. Disease threat to European fish Kent. *Nature*, 2005, vol. 435, no. 435 (7045), p. 1046.
24. Makhrov A. A., Karabanov D. P., Kodukhova Yu. V. Genetic methods for the control of alien species. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2014, vol. 5, no. 3, pp. 194–202.

25. Benfey T. J. Use of sterile triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) for aquaculture in New Brunswick, Canada. *Journal of Marine Science*, 2001, vol. 58, no. 2, pp. 525–529.
26. Thorgaard G. H., Jazwin M. E., Stier A. R. Polyploidy induced by heat shock in rainbow trout. *Transactions of American Fisheries Society*, 1981, vol. 110, no. 4, pp. 546–550.
27. Piferrer F., Beaumont A., Falguiere J.-C., Flajshans M., Haffray P., Colombo L. Polyploid fish and shellfish: Production, biology and applications to aquaculture for performance improvement and genetic containment. *Aquaculture*, 2009, vol. 293, no. 3–4, pp. 125–156.
28. Gutierrez J. B., Teem J. L. A model describing the effect of sex-reversed YY fish in an established wild population: the use of a Trojan Y chromosome to cause extinction of an introduced exotic species. *Journal of Theoretical Biology*, 2006, vol. 241, no. 2, pp. 333–341.
29. Cotton S., Wedekind C. Control of introduced species using Trojan sex chromosomes. *Trends in Ecology and Evolution*, 2007, vol. 22, no. 9, pp. 441–443.
30. Komen H., Thorgaard G. H. Androgenesis, gynogenesis and the production of clones in fishes: a review. *Aquaculture*, 2007, vol. 269, no. 1–4, pp. 150–173.
31. Gotz M. J., Johnstone E. C., Ratcliffe S. G. Criminality and antisocial behaviour in unselected men with sex chromosome abnormalities. *Psychological Medicine*, 1999, vol. 29, no. 4, pp. 953–962.
32. Kirpichnikov V. S. *Genetika i selektsiia ryb* [Genetics and fish selection]. Leningrad, Nauka Publ., 1987. 520 p.
33. Aubin-Horth N., Desjardins J. K., Martei Y. M., Balshine S., Hofmann H. A. Masculinized dominant females in a cooperatively breeding species. *Molecular Ecology*, 2007, vol. 16, no. 7, pp. 1349–1358.

The article submitted to the editors 12.01.2015

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Karabanov Dmitriy Pavlovich – Russia, 152741, Yaroslavl region, Borok; Institute of Biology of Inland Waters named after I. D. Papanin, Russian Academy of Sciences; Candidate of Biology; Senior Researcher of the Laboratory of Fish Ecology; dk@ibiw.yaroslavl.ru.

Kodukhova Yulia Vladimirovna – Russia, 152742, Yaroslavl region, Borok; Institute of Biology of Inland Waters named after I. D. Papanin, Russian Academy of Sciences; Candidate of Biology; Senior Researcher of the Laboratory of Fish Ecology; jukod@ibiw.yaroslavl.ru.

