

высокая дисперсия результатов наблюдений. Однако, это только предположение, обосновать которое в настоящее время затруднительно. Самый загрязненный диоксидом азота город – Минск, где среднемесячные концентрации меняются в пределах 10–35 ppb. В 2013–2015 гг. такие же высокие концентрации фиксировались и в Могилеве на пункте 04, однако в последующие годы они резко снизились до уровня 1–12 ppb и практически совпадают с результатами наблюдений на другом городском пункте 06. Второй по загрязненности диоксидом азота город – Брест (10–25 ppb). В Гомеле и Гродно среднемесячные значения колеблются в пределах 5–15 ppb. А самый чистый по диоксиду азота город – Витебск (3–10 ppb).

Самые высокие среднемесячные концентрации оксида азота (10–35 ppb) зарегистрированы в 2013–2015 гг. для Могилева на пункте 04. Как и в случае с диоксидом азота, в последующие годы концентрации понизились до уровня 1–10 ppb и практически совпадают с результатами наблюдений на пункте 06.

Ранее указывалось на довольно высокие концентрации оксида углерода в г. Витебск в первые месяцы 2013 г. При этом зафиксирована высокая дисперсия среднесуточных значений в отдельные месяцы. Так, в первые 2 месяца года месячное среднеквадратичное отклонение составляло 300–400 ppb, в то время как в мае оно снизилось до 100. Одновременно существенно понизились и значения измеренных концентраций.

Резкое снижение дисперсии данных наблюдений в мае, похоже, связано с заметным уменьшением среднесуточных значений. Действительно, поскольку все результаты измерений положительны, снижение среднесуточного значения ограничивает величину суточной дисперсии. Иными словами, оба параметра связаны: уменьшение первого ограничивает возможную величину второго, но не наоборот. Однозначной зависимости между ними не существует: все зависит от характера поведения измеряемой величины. В частности, если измеряемая величина меняется скачками между нулем и значением a , среднее равно $a/2$, а среднеквадратичное отклонение тоже равно $a/2$. Но вполне возможно то же значение среднего при, к примеру, нулевой дисперсии.

Как отмечалось ранее, концентрация приземного озона в городах зависит от наличия загрязнений воздуха – прекурсоров озона, их концентраций и интенсивности солнечного излучения, инициирующего процессы генерации и разрушения озона, а также эффективности вертикального перемешивания атмосферы и скорости ветра. В настоящее время уровень загрязнения городского воздуха в Беларуси не высок, поэтому преобладают процессы разрушения озона. Именно поэтому в менее загрязненном воздухе сельской местности (например, в Березинском заповеднике) концентрация приземного озона обычно выше, чем в городах.

МРАМОРНЫЙ РАК *PROCAMBARUS FALLAX* КАК ИНВАЗИВНЫЙ ВИД В ВОДОЕМАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

THE MARBLE CRAYFISH *PROCAMBARUS FALLAX* AS INVASIVE SPECIES IN THE WATER BODIES OF THE REPUBLIC OF BELARUS

***H. B. Сакун*^{1,2}, *О. А. Бодиловская*^{1,2}**

***N. Sakun*^{1,2}, *O. Bodilovskaya*^{1,2}**

¹*Белорусский государственный университет, БГУ г. Минск, Республика Беларусь*

²*Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь*

olga.bodilovskaya@iseu.by, natali.alekseychik@mail.ru

¹*Belarusian State University, BSU Minsk, Republic of Belarus*

²*International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU Minsk, Republic of Belarus*

В статье представлено описание видового разнообразия речных раков, встречаемых на территории Республики Беларусь, и непосредственно описание инвазивного вида – мраморного рака *Procambarus Fallax* и способа его размножения. В настоящее время данный вид встречается во многих странах Европы, но существует серьезная вероятность его распространения и на территории Республики Беларусь. Многие виды ракообразных, занесённых в Красную книгу Республики Беларусь, могут оказаться в опасности в случае инвазии мраморного рака в водоёмах Беларуси.

The article describes crayfish species diversity in the territory of the Republic of Belarus, in particular invasive species – the marble crayfish (*PROCAMBARUS FALLAX*) and the method of its reproduction. Currently, this species is found in many European countries, but there is a serious probability of its spread in the territory of the Republic of Belarus. Many crayfish species listed in the Red Book of the Republic of Belarus may be endangered in case of an invasion of marble crayfish in the water bodies of Belarus.

Ключевые слова: мраморный рак, размножение, инвазивный вид, партеногенез.

Keywords: marble crayfish, reproduction, invasive species, parthenogenesis.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-158-161>

В конце 20 – начале 21 веков инвазивные присоединения в экосистемах стали одной из важнейших частей эволюции биосферы. Одним из следствия явления инвазивности является десепарация биоты – разрушение границ биогеографических ареалов, что, в свою очередь, влечёт за собой изменение структуры природных экосистем и биоразнообразия отдельных регионов [1].

Воздействие инвазивных видов на биосферу регионов очень велико. Такие животные вступают в контакт с аборигенной фауной, что приводит к необратимым изменениям в их дальнейшем распространении. Последствия расселения таких видов определяются как «биологическое загрязнение».[5]

Не меньший вред инвазивные виды наносят и человеку. Такие организмы нарушают экономическую и хозяйственную деятельность. Именно инвазивные виды оказывают очень сильное влияние на биоразнообразие окружающей среды, а также могут существенно снизить прибыль предприятий, связанных с экологией и сельским хозяйством.

Речные раки (отряд *Decapoda*, надсемейство *Astacoidea*) – важнейшие ресурсно-коммерческие виды пресноводных беспозвоночных Европы. В современной водной фауне Беларуси имеется лишь один аборигенный вид десятиногих раков – широкопалый рак *Astacus astacus*. В начале XX в. сюда из водоемов Азово-Черноморского бассейна проник длиннопалый рак *A.leptodactylus*. В начале 1980-х гг. в водоем-охладитель Березовской ГРЭС была вселена дальневосточная пресноводная креветка *Macrobrachium nipponense*, сформировавшая здесь устойчивую популяцию. В 1997 г. в приграничных с Литвой и Польшей районах Гродненской обл. впервые обнаружен полосатый рак *Orconectes limosus* – инвазивный в Европе вид североамериканского происхождения [1].

В силу ряда причин, таких как интенсивный промысел, разрушение и загрязнение мест обитания, эпизоотии инфекционных заболеваний природные запасы обоих видов речных раков в Беларуси во второй половине XX ст. оказались резко подорванными.

К концу XX ст. в результате принятия ряда природоохранных мер природные запасы *A. leptodactylus* в Беларуси в определенной степени были восстановлены, что позволило даже начать его ограниченный промысел. В настоящее время *A. leptodactylus* в Беларуси встречается практически повсеместно. Напротив, численность *A. astacus* в Беларуси продолжает снижаться, а его ареал – сокращаться. Уже безвозвратно потеряны популяции этого вида в водоемах бассейна реки Припять. В критическом состоянии находится единственная популяция широкопалого рака бассейна р. Западный Буг вблизи Беловежской пуши. Серьезные опасения вызывают популяции бассейна Немана. Сейчас ареал *A. astacus* в Беларуси сократился фактически до региона Белорусского Поозерья и некоторых участков бассейна Днепра. При этом относительное благополучие отмечается лишь для немногих популяций в бассейнах правых притоков Западной Двины и отчасти в малых реках бассейна Днепра. Сейчас *A. astacus* в Беларуси остается уязвимым видом. Важной причиной снижения численности этого вида в Беларуси является его постепенное вытеснение длиннопалым раком, обусловленное большей устойчивостью последнего к загрязнению водоемов, повышенным летним температурам и дефициту кислорода, а также повышенными плодовитостью, скоростями роста и полового созревания.

Одним из серьезных факторов риска для популяций *A. astacus* и *A. leptodactylus* является проникновение в Беларусь инвазивных видов речных раков, являющихся их потенциальными конкурентами в экосистемах природных водоемов, так в 1997 г. в приграничных с Литвой и Польшей районах Гродненской обл. (участок р. Неман с притоками) был впервые обнаружен полосатый рак *Orconectes limosus* – инвазивный в Европе вид североамериканского происхождения. Затем началась его активная экспансия и колонизация новых мест обитания в Беларуси. Это привело к существенному снижению численности местных популяций *A. leptodactylus*, хотя последний в сравнении с *A. astacus* показал более высокий конкурентный потенциал.

В Беларуси обитает еще один вид *Decapoda* – субтропическая восточная речная креветка *Macrobrachium nipponense* (семейство *Palaemonidae*), акклиматизированная в 1980-х гг. в водоеме-охладителе Березовской ГРЭС. Оттуда в последние годы она была вселена в водоем-охладитель Лукомльской ГРЭС. В обоих водоемах с обедненным видовым составом биоты, вследствие высоких летних температур (до 33–35 °С), креветка сформировала устойчивые и высокопродуктивные популяции. Этому виду принадлежит важная роль в процессах биотического круговорота в экосистемах водоемов-охладителей, он стал там объектом любительского лова.

Возможности экспансии *M. nipponense* в умеренной климатической зоне весьма ограничены, поскольку этот вид размножается при температурах свыше 25°C. Однако не исключено проникновение в водоемы-охладители Беларуси теплолюбивых видов инвазивных речных раков, что может поставить под угрозу существование там популяций *M. nipponense*.

В последнее десятилетие в ряде стран Европы (Швеция, Нидерланды, Венгрия, Италия, Украина и др.) обнаружен еще один североамериканский вид – мраморный рак *Procambarus fallax*, единственный партеногенетический вид в надсемействе *Astacoidea*. Он является популярным аквариумным видом и потому в природные водоемы проникает, преимущественно, из любительских аквариумов. Отсюда появление *P. fallax* в Беларуси как в результате его заноса, так и посредством миграций из сопредельных стран представляется весьма вероятным.

При этом *P. fallax*, в сравнении с другими *Astacoidea* отличается повышенным инвазивным потенциалом, поскольку у него потомство способны производить все половозрелые особи, а не только самки, как у двуполовых

видов. *P. fallax* также является переносчиком рачьей чумы, что может стать дополнительным фактором риска для местных видов речных раков, в первую очередь, – для наиболее уязвимого *A. astacus* [1].

Так как огромное значение в расселении инвазивных видов имеет человеческий фактор, появление мраморного рака *Procambarus Fallax* в природе непосредственно связано с деятельностью человека и использованием его как аквариумного вида.

В настоящее время данный вид встречается во многих странах Европы, но существует серьёзная вероятность его распространения и на территории Беларуси. На данный момент ближайшим к Беларуси местом обитания мраморного рака является украинский город Днепр и бассейн одноименной реки. По течению этой реки мраморный рак может с легкостью оказаться в белорусской части водоёма.

Первоначальным местом обитания этих животных является Северная Америка. Их основное местонахождение – бассейн реки Сатила в штатах Джорджия и Флорида Соединённых Штатов Америки [2]. В середине 1990-х мраморные раки стали встречаться в продаже в магазинах Германии из-за яркого цвета и простоты ухода. Некоторые особи были выявлены в Японии и на острове Мадагаскар, что может свидетельствовать о достаточно высокой устойчивости данного вида к разным климатам и температурным режимам.

Название эти животные получили из-за своей характерной окраски. Мраморный рак имеет типичное для Десятиногих ракообразных строение тела. Массивная головогрудь покрыта плотным панцирем – карапаксом. К этому отделу крепятся ходильные ноги, первая пара из которых несет клешни. Также здесь располагаются челюсти и органы чувств (глаза и антенны). Брюшко подвижное, состоит из нескольких сегментов, под которыми располагаются плавательные ножки – плеоподы. На конце брюшка имеется широкий хвостовой плавник.

Главным отличием мраморного рака от других ракообразных является способность к партеногенезу – развитию яйцеклеток во взрослом организме без оплодотворения. Размножение осуществляется неоплодотворёнными яйцеклетками, из которых выходят полностью генетически идентичные особи. Популяция состоит из особей женского пола, самцы отсутствуют полностью [3]. Половая зрелость наступает в возрасте около полугода. За один раз самка может принести от 20 до 300 икринок. Икру самки носят на своих плеоподах. Их постоянное движение обеспечивает вентиляцию и приток свежей воды к икринкам. Инкубация икры длится около месяца, практически всё это время рак проводит в убежище. После на свет появляются уменьшенные копии родителей, которые способны к самостоятельному питанию.

Средняя масса новорождённых личинок мраморного рака почти одинаковая – в среднем 7,45 мг. Однако, несмотря на низкий уровень генотипической изменчивости, характерный для потомства партеногенетических особей, молодь этого вида сильно изменчива по скорости роста. Быстрорастущие особи – лидеры, составляющие более 10–12 % всего поколения, способны в благоприятных условиях быстро достигать половой зрелости и давать потомство [4].

Длина тела взрослых особей колеблется от 5 до 12 см, а вес от 15 до 30 г. Окрас панциря бежевый с тёмно-коричневым мраморным узором. В воде с повышенной кислотностью окрас нередко становится голубоватым. Характерной особенностью мраморного рака является сплюснутый тельсон и сравнительно небольшие клешни. Продолжительность жизни около двух лет. Хотя данный вид и является всеядным, предпочтение отдаётся пище растительного происхождения.



Рисунок 1 – Внешний вид особи мраморного рака (*Procambarus fallax forma viginalis*)

Потенциальная опасность этого вида в том, что мраморный рак чрезвычайно устойчив к климатическим изменениям, нетребователен к пище и может длительное время обходиться без неё. Он хорошо размножается и быстро вытесняет своих дальних родственников. Кроме того, мраморный рак является переносчиком рачьей чумы.

Многие виды ракообразных, занесённых в Красную книгу Республики Беларусь, могут оказаться в опасности в случае инвазии мраморного рака на территории Беларуси. Поэтому необходимо выяснить, насколько сильно мраморный рак может прижиться в нашем климате.

На протяжении 2019–2021 годов в лабораторных условиях проводились наблюдения за поведением мраморного рака, его способностью к размножению и выживаемости в условия, близких к условиям белорусского климата летом и зимой. На протяжении всего эксперимента использовалось специальное оборудование для получения правильных и более точных результатов. В лаборатории неоднократно проводились опыты по выживанию мраморного рака непосредственно в летний и зимний период.

В случае с летним климатом мы использовали термостат. Для эксперимента была выбрана температура 35 градусов Цельсия. Контроль температуры осуществлялся с помощью обычного ртутного термометра. Для данного эксперимента было отобрано 10 особей и помещено в отдельные стеклянные ёмкости. Ёмкости погружались в термостат, который нагревали до нужной температуры. Далее проводилось круглосуточное наблюдение за количеством особей, которые не переносили такую температуру, и, в конечном итоге, погибали. Непрерывное наблюдение за ракообразными велось в течение двух дней, пока в живых не осталась только одна особь.

Для имитации зимних условий использовался холодильник. Для этого опыта было отобрано и помещено в отдельные сосуды 10 особей мраморного рака. После этого их помещали в холодильник, температура которого примерно имитировала зимние условия белорусского климата. В результате в течение недели все 10 особей погибли. Таким образом, можно предположить, что мраморному раку будет крайне тяжело пережить зиму в белорусских водоёмах.

По данным, полученным после эксперимента и тщательному наблюдению за поведением мраморного рака в лаборатории, можно с большой долей вероятности сказать, что, несмотря на крайне агрессивный уровень инвазивности, мраморный рак не способен нормально выживать в водоёмах Беларуси. Всё дело в том, что средняя температура в Беларуси зимой чрезвычайно низкая, а средняя температура летом чрезвычайно высока для нормального развития молоди, а также для выживания особей в целом.

Однако совершенно ясно и очевидно, что агрессивность популяции этого вида чрезвычайно высока, поэтому, несмотря на вышеуказанный факт, нельзя забывать об охране белорусских водоёмов и аборигенной фауны, а также видов, занесённых в Красную книгу Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алимов, А.* Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах / А.Ф. Алимов, Н.Г. Богущкая – М. : Спб, 2004. – 437 с.
2. *Taylor, C. A.* Conservation status of crayfishes of the United States and Canada / C.A. Taylor et al. // *Fisheries.* – 2010. – Vol. 21. – P. 25–38.
3. *Martin, P.* The enigmatic Marmorokrebs (marbled crayfish) is the parthenogenetic form of *Procambarus fallax* (Hagen, 1870) / P. Martin et al. // *Contributions to Zoology.* – 2016. – Vol. 79, № 3. – P. 107–118.
4. *Голубев А.* Партеногенетический мраморный рак *Procambarus fallax* (Hagen, 1890) (Decapoda, Cambaridae) – потенциальный инвазивный вид в водоёмах Беларуси / А.П. Голубев и др. // *Сахаровские чтения 2017 года – ч. 2.* – С. 20–21.
5. *Хляп, Л.* Биологические инвазии на территории России: млекопитающие / Хляп Л.А. [и др.]. // *Российский журнал биологических инвазий* – 2008. – № 2 – С. 78–95.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ КАК НОВОГО ПРИЕМА В ОЗДОРОВЛЕНИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ УЧАЩИХСЯ

USAGE OF VERTICAL GARDENING IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS AS A NEW METHOD OF THE ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT FOR STUDENTS

А. Г. Чернецкая^{1,2}, Н. П. Стригельская^{1,2}, Е. В. Алексейчик^{1,2}, Т. В. Скрунда^{1,2}
A. Chernetskaya^{1,2}, N. Strigelskaya^{1,2}, E. Alexeichik^{1,2}, T. Skrunda^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ г. Минск, Республика Беларусь
id@iseu.by, ecoedulab@iseu.by

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В статье представлена актуальность использования вертикального озеленения в учреждениях образования т. к. эффективность педагогического процесса во многом зависит от созданной среды, которая