

Научная статья

УДК [639.211.4+597.552.51](470.26)

DOI: 10.17217/2079-0333-2024-69-96-110

**РОСТ ЕВРОПЕЙСКОЙ РЯПУШКИ (*COREGONUS ALBULA*, L.)
ОЗЕРА ВИШТЫНЕЦКОГО (КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)
В ПЕРИОД 2012–2016 ГГ.**

Кривопускова Е.В., Бурбах А.С.

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, ул. Советский проспект, 1.

При отсутствии постоянных исследований информация об индивидуальном росте особей в ихтиоценозах становится основой для понимания эвтрофикационных процессов, происходящих в экосистемах. Так, например, европейская ряпушка остро реагирует на любые сдвиги в трофическом статусе водоемов изменениями в темпах роста. В озере Виштынецком ряпушка является промысловым видом и объектом мониторинга, что позволило накопить достаточное количество информации, необходимой для предварительной оценки стабильности экосистемы озера, основываясь на данных об индивидуальном росте особей. Ретроспективный анализ данных о росте ряпушки в период с 2012 по 2016 гг. показал, что в рассматриваемый период отсутствуют значимые межгодовые колебания, что может косвенно свидетельствовать о стабильных условиях окружающей среды. Наблюдаемые межгодовые сдвиги в размерно-возрастных характеристиках связаны с колебаниями численности пополнения.

Ключевые слова: европейская ряпушка, обратные расчисления роста, озеро Виштынецкое, рост.

Original article

**GROWTH RATES OF VENDACE (*COREGONUS ALBULA*, L.)
IN THE LAKE VISHTYNETSKOYE (KALININGRAD REGION)
DURING 2012–2016**

Krivopuskova E.V., Burbakh A.S.

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Sovetsky Prospekt Str. 1.

In the absence of annual research, information about the individual growth of species in ichthyocenoses become the basis for understanding eutrophication processes occurring in ecosystems. As example, vendace sharply reacts on any shifts in the trophic status of water bodies by changes in growth rates. The vendace is a commercial species and an object of monitoring in Lake Vishtynetskoe, it made it possible to accumulate sufficient amount of information necessary for a preliminary assessment of the stability of the lake's ecosystem based on data of the individual specimen growth. Retrospective analysis of vendace growth data from 2012 to 2016 showed that during the period under review there are no significant interannual fluctuations, which may indirectly indicate stable environmental conditions. The observed interannual shifts in size and age characteristics are associated with fluctuations in recruitment abundance.

Key words: vendace, back-calculationsof growth rates, Lake Vishtynetskoe, growth.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях антропогенного пресса все больше водных экосистем претерпевают значительные трансформации, особенно сильное негативное воздействие испытывают пресноводные экосистемы, которые владеют значительно меньшим потенциалом самоочищения от избыточных объемов поступающих аллохтонных соединений без изменений в экологическом статусе по сравнению с морскими [Droppers et al., 2020]. Популяции гидробионтов разным образом могут реагировать на нарушение экологического баланса в среде их обитания, но неоспорим факт, что чем выше стоит популяция в пищевой пирамиде, тем сложнее увидеть отклик на эти изменения. В то же время организмы, находящиеся на низших ступенях пищевой пирамиды, сильнее подвержены сезонным колебаниям и влиянию «природных» абиотических факторов, поэтому не всегда оценка трофического состояния водных экосистем с их использованием дает достоверный результат. Для получения достоверных данных необходим длительный и круглогодичный комплексный мониторинг, что не всегда возможно организовать из-за труднодоступности мест, дороговизны работ и высокой трудоемкости исследований. Учитывая все вышеперечисленное, в настоящее время одним из простых и достоверных методов для оценки трансформационных процессов, происходящих в экосистемах водоемов (в особенности лентических), является оценка индивидуального роста планктонофагов.

Оценка индивидуального роста рыб играет важную роль для анализа состояния популяций в условиях трансформации экосистем. Изменение скорости, с которой рыба увеличивается в размерах, является показателем, насколько стабильны условия

существования популяции и как изменения в экосистеме влияют на ее состояние. Для многих популяций рыб характерно увеличение темпов роста с повышением трофности водоема, в особенности для планктонофагов, что приводит к увеличению биомассы данного вида и положительно сказывается на его промысловой ценности. Однако ухудшение экологического статуса водоема может привести к снижению качественных и количественных показателей пополнения ввиду потери нерестилищ, ухудшения условий инкубации, увеличения пресса хищников и т. д., что в свою очередь приведет к «старению» популяции и ее дальнейшей деградации [Dawodu et al., 2015]. Особенно остро на такие изменения реагируют холоднолюбивые и короткоцикловые виды, к которым относится европейская ряпушка, *Coregonus albula* (L.).

На изменение трофического статуса, как и большинство короткоцикловых видов, европейская ряпушка в первую очередь реагирует изменениями своих размерно-весовых показателей и темпов роста. Являясь планктонофагом, европейская ряпушка при увеличении трофического статуса активно потребляет образующуюся избыточную биомассу фито- и зоопланктона, вследствие чего возрастают темпы размерно-весового роста [Czerniejewski et al., 2022; Стрельникова, Березина, 2021]. Именно такие популяции активно включаются в промысел, но в дальнейшем увеличивающиеся темпы эвтрофикации и промысловая эксплуатация без должных научных ограничений и природоохранных мер приводит к «потере» популяциями промысловых и продукционных качеств [Czerniejewski, Wawrzyniak, 2006].

Анализ структурно-биологических показателей большинства «эксплуатируемых» популяций европейской ряпушки [Elliott, Bell, 2010; Nyberg et al., 2001;

Kubiak et al., 2021; Schmidt et al., 2005] показал высокую зависимость между уловами, размерно-возрастной структурой популяции и трофическим статусом водоема, изменения которого связаны с антропогенным влиянием. Так, для олиготрофных водоемов характерны многочисленные популяции мелкоразмерных особей, в то время как в озерах, находящихся в переходном статусе между мезотрофией и эвтрофией, популяции ряпушки немногочисленны, но особи имеют значительные размеры. Важно отметить, что возрастная структура популяций, анализируемых в данных исследованиях, относительно одинакова.

Исходя из вышесказанного, исследование особенностей роста популяций европейской ряпушки в водоемах является важным аспектом оценки состояния водных экосистем при отсутствии круглогодичных наблюдений, а также влияния изменяющихся условий на саму популяцию и ее продукционные качества.

Цель данной работы – проанализировать линейный рост европейской ряпушки озера Виштынецкого на основе наблюдаемых данных и с использованием обратных расчетов и оценить стабильность условий существования популяции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужили данные контрольных уловов, полученных в рамках комплексного экологического мониторинга оз. Виштынецкого, проводимого кафедрой водных биоресурсов и аквакультуры ФГБОУ ВО «КГТУ» в период с 2012 по 2016 гг. Научно-исследовательский лов производился с использованием ставных пелагических сетей с шагом ячеи от 10 до 20 мм. Все уловы обрабатывались по стандартным методикам [Правдин, 1966]. Для анализа исполь-

зовались данные массовых промеров (более 64 тыс. экземпляров). Получение достоверной информации обеспечивалось проведением обловов в глубоководных частях озера (районы северной и южной котловин) на различных горизонтах для учета влияния формирования «термоклина» на распределение рыбы в толще [Кривопускова, Соколов, 2018] в одинаковые временные периоды и одним набором орудий.

Для анализа структурно-биологических показателей популяции европейской ряпушки использовались промысловая длина и возраст, полученный в результате анализа регистрирующих структур (чешуи) с использованием световой микроскопии. В общей сложности возраст был определен для 1 500 особей. Скорость роста и его межгодовые изменения оценивались на основании данных, полученных в результате обратных расчетов роста рыб по радиусам годовых колец на чешуе (более 470 экз.), с использованием методики, разработанной С.В. Шибаевым [Шибаев, 2004; Шибаев, 1987].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Европейская ряпушка является ценным короткоцикловым промысловым видом в водоемах Северной и Центральной Европы. Факторы, определяющие ее ценность как объекта промысла: относительно высокие темпы роста, стаетообразование и высокие пищевые качества. Необходимо отметить, что европейская ряпушка, как и большинство короткоцикловых видов, обладает значительной фенотипической изменчивостью [Oreha, Skute, 2009; Czerwiejewski et al., 2022], которая является косвенным отражением условий окружающей среды, в которой она обитает. Так, исследования популяций европейской ряпушки в Республике Польша [Oreha, Skute, 2009;

Czerniejewski et al., 2022; Czerniejewski, Wawrzyniak, 2006; Kubiak et al., 2021] показали зависимость между увеличением средних размеров особей в пределах одной возрастной группы и повышением трофического статуса водоема.

Структура популяции европейской ряпушки оз. Виштынецкого вследствие короткого жизненного цикла довольно простая. Основную ее часть составляют трех- и четырехлетки, которые формируют до 90% уловов. Особи старшевозрастных групп встречаются редко, что закономерно связано с высокой естественной смертностью.

Европейская ряпушка оз. Виштынецкого растет на протяжении всей своей жизни, однако, как и в других озерах [Lehtonen et al., 2023], рост ее неравномерен. Высокие темпы роста характерны только до наступления половой зрелости, в дальнейшем темпы замедляются. В то же время темпы линейного роста ряпушки, как уже было отмечено выше, находятся в прямой зависимости от трофического статуса водоема, в котором она обитает. Чем выше трофический статус, тем выше темпы линейного роста.

В последние несколько десятилетий в оз. Виштынецком отмечается снижение в уловах средней длины европейской ряпушки [Кривоускова, Соколов, 2017; Aldushin, Shibaev, 2022]. Так, в период с 2012 по 2016 гг. основными доминирующими размерными группами были 11, 12 и 13 см, в то время как в период 1980–1990 гг. преобладали особи размерных групп 15 и 16 см. Несмотря на отмечающиеся процессы увеличения темпов эвтрофикации [Krivopuskova, Tzvetkova, 2022], в рассматриваемые годы не было обнаружено достоверных изменений в межгодовой динамике размерной структуры популяции [Кривоускова, Соколов, 2017]. Достоверных межгодовых изменений в весовых характери-

ках промысловой части популяции европейской ряпушки в данный период также не было обнаружено.

Анализ особенностей популяционных кривых линейного и весового роста европейской ряпушки, построенных на основе данных научно-исследовательских уловов, показал, что, как и у всех короткоцикло-вых видов, данные кривые имеют схожий характер. Значимых возрастных изменений в динамике данных показателей роста в рассматриваемый период не было обнаружено [Кривоускова, Соколов, 2017].

Костные структуры рыб, такие как чешуя и отолиды, характеризуются непрерывным постоянным ростом, который в свою очередь хорошо отражает их линейный рост. Характер роста европейской ряпушки также находит свое отражение в структуре чешуи, благодаря чему ее можно использовать для оценки индивидуального роста и условий обитания в каждый конкретный год без проведения круглогодичного мониторинга. При сезонных колебаниях абиотических факторов окружающей среды изменения темпов индивидуального роста отражаются в размерах зон «медленного» и «быстрого» роста, а «годовые» условия существования в размере годовых колец. Для рассматриваемой популяции можно выделить несколько особенностей индивидуального роста, которые отражаются при росте чешуи. Так, наиболее интенсивно европейская ряпушка растет в первой половине вегетационного сезона (май – середина июля). Основными факторами, влияющими на рост, являются температура воды и обеспеченность кормом. Во время летнего прогрева водных масс на чешуе образуется зона сближения склеритов. Л.Л. Мухордова [Мухордова, 1972] отмечала замедление роста «виштынецкой» ряпушки с августа, о чем свидетельствует формирование зоны расширен-

ных склеритов, наблюдаемая у особей, выловленных в августе – сентябре. Поэтому при оценке возрастных изменений темпов роста наряду с изучением роста ряпушки на основании уловов необходимо проводить обратные расчисления роста с использованием чешуи (рис. 1).

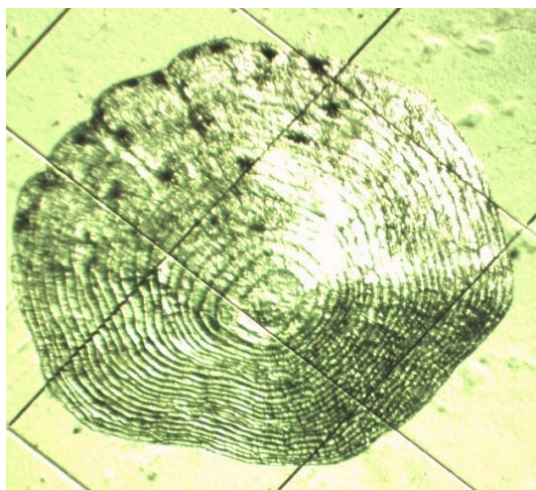


Рис. 1. Фото чешуи европейской ряпушки озера Виштынецкого (стереомикроскоп MoticSZM-171)

Fig. 1. Photo of the vendace scales from Lake Vishtynetskoye (stereomicroscope Motic SZM-171)

Полученные в результате проведения обратных расчислений данные позволяют значительно увеличить объемы материала для изучения особенностей роста [Бурбах, Шибает, 2019; Руйгите, 2009], а также дают информацию о размерах особей младших возрастных групп, которые встречаются в уловах единично либо не встречаются вовсе.

Кроме этого, по изменениям в соотношении размеров зон «быстрого» и «медленного» роста можно судить об относительной продолжительности благоприятных условий для роста популяции (температурные условия, обеспеченность пищей). При стабильных условиях в водной экосистеме и при отсутствии значительных сезонных колебаний соотношение

между этими зонами будет примерно одинаковое, тогда как при нарушении стабильности экосистемы или значительных сезонных «аномалий» это соотношение может меняться, в случае возвращения условий существования особей популяции к «среднегодовым» это соотношение восстанавливается.

Одной из проблем, возникающей при сборе материала для проведения обратных расчислений роста европейской ряпушки, является невозможность взятия образцов чешуи с постоянного участка туловища рыбы. Данный вид обладает легкоспадающей чешуей, что в результате обработки уловов приводит к ее значительным потерям, и образцы чешуи для оценки возрастной структуры приходится брать с различных участков тела, что сказывается в свою очередь на достоверности результатов обратных расчислений. Поэтому даже при наличии большого количества экземпляров, выловленных в рассматриваемый период (более 64 тыс. особей), материал, пригодный для анализа темпов роста, был собран только с 478 особей.

На начальном этапе обработки данных обратных расчислений роста рыб был проведен анализ зависимости между радиусом чешуи и длиной рыбы (рис. 2), так как в основе данного метода лежит предположение о пропорциональной взаимосвязи между этими двумя показателями. Это предположение было проверено путем построения линейной зависимости для всех полученных образцов чешуи. В результате было установлено, что данная зависимость описывается следующей функцией $R = 0,942x + 8,757$, а коэффициент корреляции составляет 0,71. Относительно низкий коэффициент корреляции напрямую связан с проблемами при сборе материала для определения возраста рыб и в дальнейшем проведения обратных расчислений.

Полученные данные о годовых радиусах, а также коэффициенты линейного уравнения зависимости между длиной чешуи и ее радиусом позволяют получить ретроспективные длины на каждом году жизни особей европейской ряпушки разных

поколений. Анализ полученных в результате расчетов данных (табл. 1) позволил получить представление о теоретическом росте особей рассматриваемой популяции, которые в дальнейшем были сгруппированы в зависимости от «года рождения».

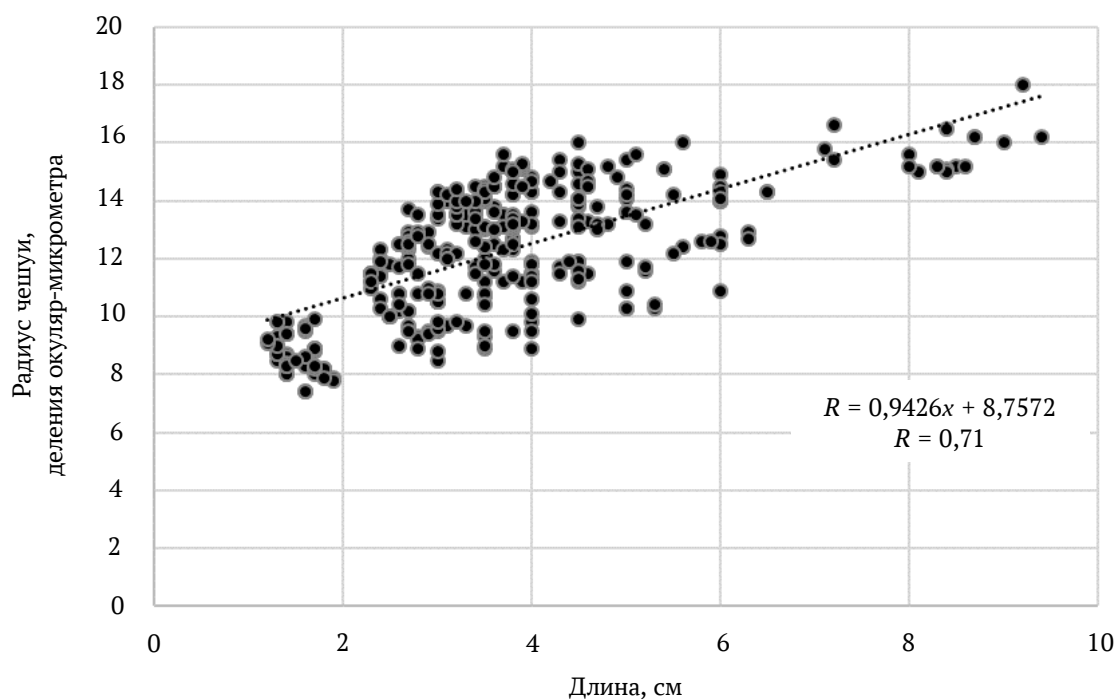


Рис. 2. Зависимость между радиусом чешуи и длиной европейской ряпушки озера Виштынецкого

Fig. 2. The relationship between the radius of the scale and the length of the vendace of Lake Vishtynetskoye

Таблица 1. Линейный рост европейской ряпушки озера Виштынецкого в различные годы, полученный с использованием обратных расчислений

Table 1. Linear growth of the vendace from the Lake Vishtynetskoye in different years, obtained using back-calculations

Год	Длина, см				
	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5
2016	7,6	10,3	12,4	13,1	14,8
2015	6,5	9,3	10,5	12,1	
2014	6,5	8,5	10,9	13,9	15,6
2013	6,1	8,5	11,4	13,9	14,7
2012	6,1	8,7	11,2	13,3	
2011	5,9	8,0	10,8		
2010	5,3	8,3			
2009	4,8				

При анализе полученных ретроспективных данных о линейном росте особей европейской ряпушки оз. Виштынецкого было выявлено несоответствие между наблюдаемыми и теоретическими (расчетными) средними длинами одной и той же возрастной группы. Данный феномен в литературе получил название «феномен Розы Ли» [Kraak et al., 2019], который связывают в большинстве случаев с влиянием на популяцию промысловой смертности, а также пространственной и временной неоднородностью условий существования и влиянием биотических факторов, замедляющих индивидуальные темпы роста для конкретных особей. В то же время наличие данного феномена может свидетельствовать о наличии двух внутри популяционных группировок, отличающихся темпами роста: медленно- и быстрорастущих особей [Webber, Thorson, 2016], что косвенно подтверждается результатами анализа размерно-возрастной структуры популяции, в которой при относительно стабильных в пространственном аспекте условиях существования популяции европейской ряпушки и относительно небольших размерах две смежные возрастные группы могут встречаться в двух-трех размерных. При этом медленно растущие особи менее подвержены воздействию промысловой смертности и в большей степени могут формировать старшевозрастные когорты, что и вызывает проявления феномена Розы Ли при обработке результатов обратных расчислений роста европейской ряпушки оз. Виштынецкого.

Несмотря на наличие феномена Розы Ли, полученные данные об индивидуальном росте особей рассматриваемой популяции позволяют утверждать, что в целом рост отражает общебиологический закон: скорость линейного роста имеет тенденцию к снижению с возрастом, но невоз-

можно достаточно достоверно установить средние размеры годовиков.

Результаты анализа данных о размерно-весовых показателях дают представление о средневзвешенных значениях длин разновозрастных когорт популяции европейской ряпушки в оз. Виштынецком, относящихся к поколениям разных лет. В таком случае при построении кривой роста мы получаем не графическое отражение процесса роста, а лишь кривую, отображающую распределение наблюдаемых размеров рыб, относящихся к различным поколениям, которые они имели в том или ином возрасте в различные годы.

Учитывая указанные выше особенности при использовании стандартных моделей обработки результатов обратных расчислений для описания темпов линейного роста популяции европейской ряпушки оз. Виштынецкого целесообразнее при описании теоретического роста использовать подход, предложенный С.В. Шибаевым [Шибаев, 1987]. Согласно предложенному подходу, основой при проведении ретроспективных расчетов индивидуального роста и дальнейшего выявления его особенностей является формальное представление этого процесса с использованием уравнения Берталанфи [Bertalanffy, 1964]. Основные параметры, необходимые для использования указанного уравнения, определялись с помощью метода Форда – Уолфорда [Walford, 1946].

Уолфорд [Walford, 1946] в результате анализа модели, разработанной Берталанфи, показал, что математической основой используемого уравнения является установление факта замедления роста рыбы с возрастом путем сравнения размеров, которые имеет особь в начале и в конце некоторого временного интервала, например, года.

Анализируя полученные переменные уравнения Форда – Уолфорда и Берталанфи

(табл. 2), можно сделать вывод о стабильности линейного роста особей европейской ряпушки в оз. Виштынецком, о чем свидетельствуют близкие значения коэффициента b уравнения Форда – Уолфорда, отражающего рост в рассматриваемые годы.

Полученные данные о стабильности роста в рассматриваемый период дают возможность рассчитать длину годовика «виштынецкой» ряпушки с использованием зависимости между длиной годовика (l_1) и возрастом рыбы (t) (рис. 3).

При анализе полученных данных обратных расчислений (см. табл. 1) было установлено, что мы получаем лишь средние значения длин разных возрастных групп разных поколений, что не отражает в полной мере межгодовую динамику роста европейской ряпушки. В то же время эти данные могут стать отличной основой для определения средних величин прироста каждой возрастной группы внутри одной генерации, которые при совместном анализе с данными о длине годовика позволяют рассчитать гипотетические значения линейного роста в каждом году (табл. 3), т. е. значения длины, которые европейская ряпушка могла бы достигнуть при стабильных условиях окружающей среды на протяжении всей жизни. В результате проведенного анализа мы можем установить межгодовую динамику роста по следую-

щей схеме: к средней длине годовиков прибавлялись полученные значения прироста первой возрастной группы определенного года, и, таким образом, были получены абсолютные средние значения длины двухгодовиков, к которым в свою очередь прибавлялись средние значения прироста второй возрастной группы, и получали значения длины трехгодовиков и т. д. [Walford, 1946].

На основании полученных значений линейного роста для каждой возрастной группы были построены гипотетические кривые стабильного линейного роста (рис. 4).

При сравнении кривых линейного роста, полученных в результате ретроспективного анализа и гипотетических кривых, построенных на основании данных, полученных с использованием уравнения Берталанфи, можно отметить отсутствие значительных расхождений между ними (см. рис. 5). На основании этих данных можно сделать вывод, что особи европейской ряпушки популяции оз. Виштынецкого почти полностью реализуют свой потенциал роста при существующих условиях среды обитания. Наблюдаемые расхождения между кривыми для старших возрастных групп в 2016 г. объясняются недостаточным количеством материала на этапе выполнения обратных расчислений.

Таблица 2. Коэффициенты уравнений роста Форда – Уолфорда и Берталанфи

Table 2. Coefficients of the Ford – Walford and Bertalanffy growth equations

Годы	Коэффициенты уравнения Форда – Уолфорда			Коэффициенты уравнения Берталанфи			
	a	b	r	L_{∞}	K	c	t_0
2012	4,48	0,88	1,00	35,95	–0,13	3,8	1,64
2013	3,50	0,88	0,99	29,17	–0,13	3,6	1,77
2014	3,09	0,91	1,00	35,33	–0,09	3,7	1,48
2015	4,78	0,84	1,00	29,87	–0,17	3,7	1,74
2016	4,50	0,88	1,00	35,98	–0,134	3,8	1,62

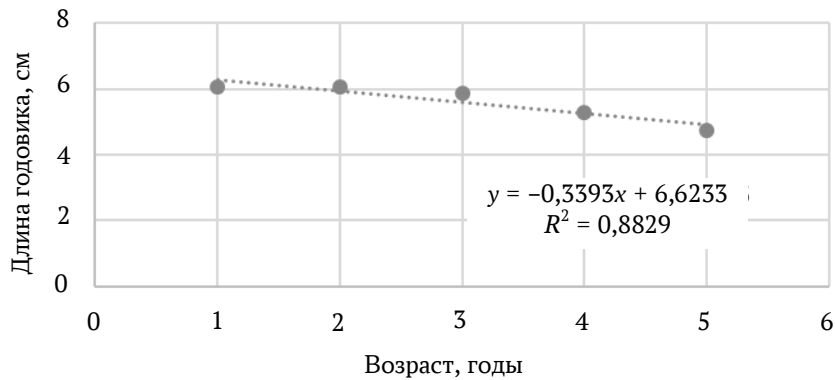


Рис. 3. Зависимость между средней длиной годовика (*l*) ряпушки и ее возрастом (*t*) при проявлении феномена Розы Ли

Fig. 3. The relationship between the average length of the vendace of the 1-year (*l*) and its age (*t*) when Rosa Lee phenomenon developing

Таблица 3. Гипотетические показатели роста европейской ряпушки озера Виштынецкого по данным обратных расчислений

Table 3. Hypothetical growth of the vendace from the Lake Vishtynetskoye according to back-calculations

Годы	Длина, см				
	<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₂	<i>l</i> ₃	<i>l</i> ₄	<i>l</i> ₅
2016	6,3	10,1	13,3	15,9	18,6
2015	6,3	9,1	11,1	12,4	
2014	6,3	8,7	11,1	13,5	15,2
2013	6,3	8,7	11,4	14,1	15,5
2012	6,3	9,2	12,4	15,0	

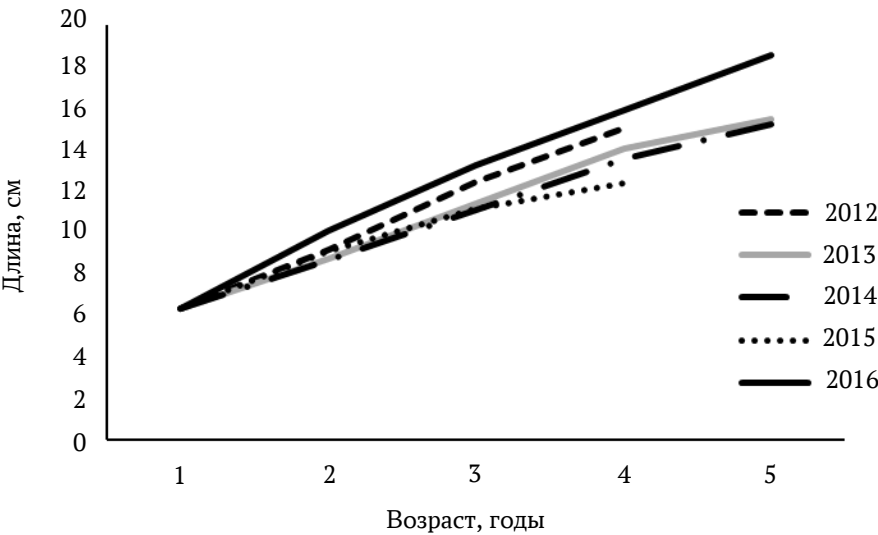


Рис. 4. Гипотетические кривые стабильного роста ряпушки озера Виштынецкого

Fig. 4. Hypothetical curves of stable growth for vendace from the Lake Vishtynetskoye

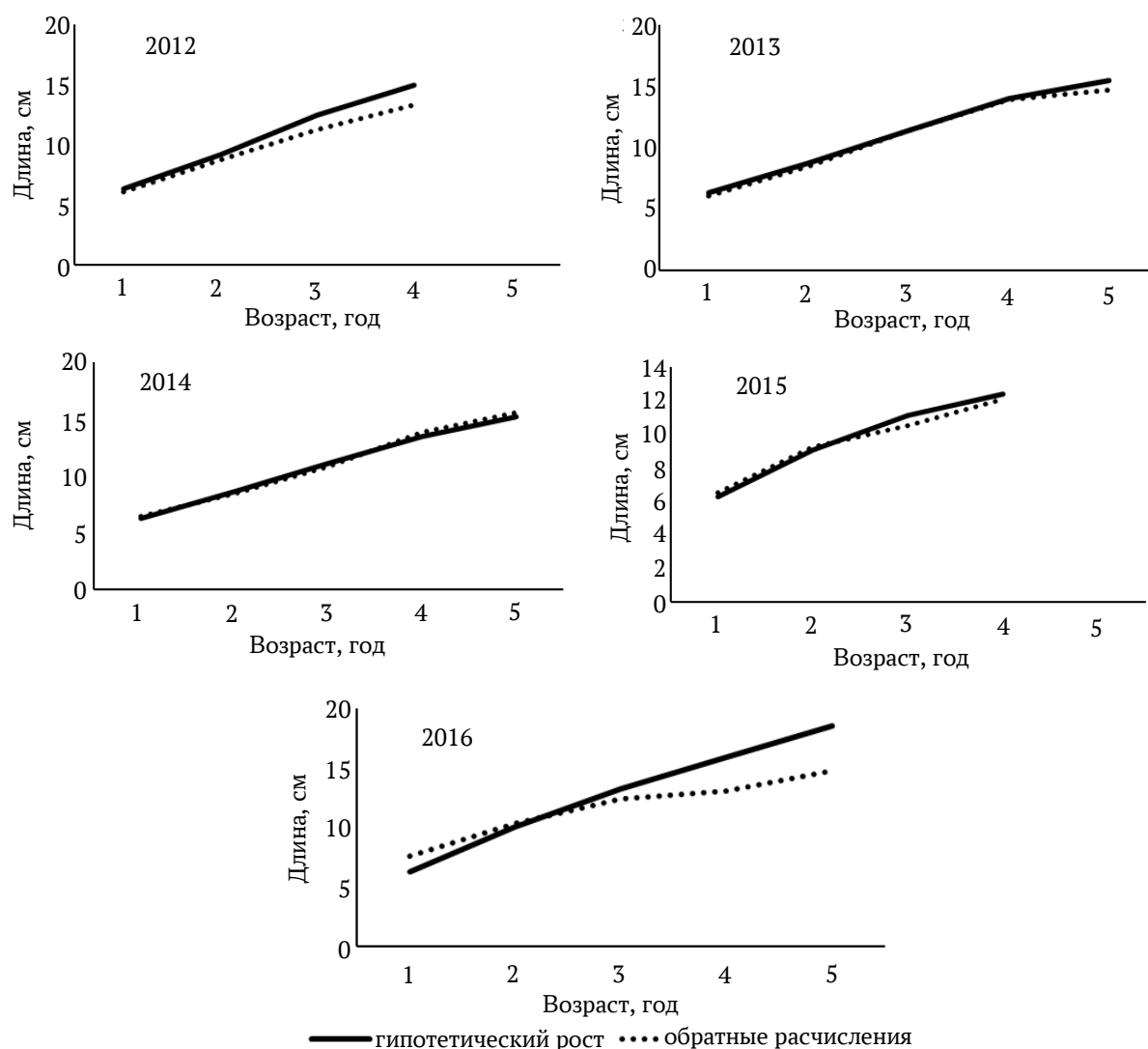


Рис. 5. Кривые гипотетического роста и кривые роста по обратным расчислениям европейской ряпушки озера Виштынецкого в 2012–2016 гг.

Fig. 5. The hypothetical growth curves and the growth curves based on the back-calculations for the vendace of Lake Vishtynetskoye during 2012–2016

Учитывая все вышеперечисленное, полученные результаты обработки обратных расчислений свидетельствуют об относительно стабильном росте ряпушки в оз. Виштынецком в период с 2012 по 2016 гг., что косвенно подтверждает отсутствие значительных колебаний абиотических и биотических параметров в оз. Виштынецком. Ежегодный темп линейного прироста согласуется с общебиологическими законами темпа роста рыб. Наблюдаемые межгодовые сдвиги в размерно-возрастных харак-

теристиках связаны в большей мере с колебаниями численности пополнения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рост, на который влияют как биотические, так и абиотические факторы, носит адаптивный характер, обеспечивая оптимальные отношения между популяциями рыб и окружающей средой. Наиболее существенную роль играет фактор обеспеченности пищей. На всем ареале скорость

роста европейской ряпушки существенно варьируется. Более того, было выявлено, что с ростом трофности озера ускоряется рост мелких ряпушек, что приводит к увеличению их длины в разных возрастных группах [Oreha, Skute, 2009; Czerniejewski et al., 2022; Czerniejewski, Wawrzyniak, 2006; Kubiak et al., 2021]. В то же время для большинства озер полностью отсутствует информация о росте популяций на низких уровнях трофии, что позволило бы соотнести изменения в экосистеме с изменениями в темпах роста особей. Наличие «фоновой» информации о росте особей и среде, в которой она на тот момент существовала, становится важным фактором при разработке планов восстановления популяции и экосистемы в целом.

Европейская ряпушка оз. Виштынецкого обладает большим коммерческим потенциалом для промышленного рыболовства, в то же время является отличным индикатором процессов, протекающих в водных экосистемах, в особенности процессов эвтрофикации [Sarvala et al., 2020; Krivopuskova, Tzvetkova, 2022]. Ее годовые темпы роста отлично отражают обеспеченность пищей популяции (зоопланктон), так продолжительная положительная динамика роста рыб и отсутствие снижения темпов роста могут свидетельствовать о процессах, связанных с повышением трофического уровня.

Полученные в результате проведенного исследования данные о росте ряпушки в оз. Виштынецком в период с 2012 по 2016 гг. при относительно низких уровнях антропогенной нагрузки могут стать фоновыми показателями для оценки трофических изменений в водоеме, разработке планов по управлению прибрежной территорией, а также могут быть использованы в расчетах при отсутствии натурных наблюдений и в промысловых моделях запа-

са. Дальнейшее проведение обратных расчетов роста европейской ряпушки в рамках обработки результатов комплексного экологического мониторинга экосистемы оз. Виштынецкого могут стать хорошим индикатором процессов эвтрофикации.

ЛИТЕРАТУРА

- Бурбах А.С., Шибяев С.В. 2019. Рост ко-
рюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.)
в реках бассейна Куршского залива
Балтийского моря. *Материалы VII
Международного Балтийского мор-
ского форума: VII Национальная науч-
ная конференция «Водные биоресурсы,
аквакультура и экология водоемов»*.
Калининград. С. 101–107.
- Кривопускова Е.В., Соколов А.В. 2017.
Изменения размерно-возрастной струк-
туры популяции европейской ряпушки
озера Виштынецкого (Калининградская
область) в период с 2007 по 2016 гг.
Вестник молодежной науки. № 3 (10).
С. 23–28.
- Кривопускова Е.В., Соколов А.В. 2018.
Влияние сезонных температурных из-
менений в озере Виштынецком (Кали-
нинградская область) на вертикальное
распределение уловов европейской ря-
пушки. *Вестник молодежной науки*.
2018. № 1 (13). С. 21–26.
- Мухордова Л.Л. 1972. Современное состоя-
ние и перспективы развития рыбного
хозяйства на озере Виштынецком Кали-
нинградской области. *Труды КТИРПХ
«Биология промысловых рыб внутрен-
них водоемов Калининградской обла-
сти»*. Вып. 40. С. 83–89.
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изуче-
нию рыб. Москва: Пищевая промыш-
ленность. 1966. 376 с.
- Руйгите Ю.К. 2009. Морфо-экологическая
характеристика и возможности промы-

- слового использования густеры (*Blicca bjoerkna* L.) Вислинского залива Балтийского моря. *Автореферат диссертации ... канд. биол. наук.* Калининград. 24 с.
- Стрельникова А.П., Березина Н.А. 2021. Разнообразие пищевого спектра ряпушки в водоемах Евразии. *Трансформация экосистем.* № 4 (3). С. 1–15 DOI: 10.23859/estr-210329
- Шибает С.В. 1987. Рост, баланс энергии и обеспеченность пищей леща Чебоксарского водохранилища. *Сб. науч. тр. ГосНИОРХ.* № 276. С. 93–109.
- Шибает С.В. 2004. Системный анализ в рыбохозяйственных исследованиях. Калининград: КГТУ. 315 с.
- Aldushin A., Shibaev S. 2022. Prospects of development of small-scale fisheries of vendace in Lake Vistytis, Kaliningrad Oblast, Russia. *Sustainable Fisheries and Aquaculture: Challenges and Prospects for the Blue Bioeconomy. Environmental Science and Engineering.* Springer. P. 85–96. DOI: 10.1007/978-3-031-08284-9_9.
- Bertalanffy L. 1964. Basic concepts in quantitative biology of metabolism. *Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen.* Vol. 9. № 1–4. P. 5–37.
- Czerniejewski P., Strzelczak A., Machula S., Martinez-Bracero M. 2022. Abiotic factors as a long-term stressor for the vendace fisheries in Lake Ińsko (European Central Plains Ecoregion, Poland). *Journal of Water and Land Development.* Special Issue. P. 24–33. DOI: 10.24425/jwld.2022.143718.
- Czerniejewski P., Wawrzyniak W. 2006. Management of vendace (*Coregonus albula*) in the lakes of north-west Poland in the late twentieth and early twenty-first centuries. *Arch. Pol. Fish.* Vol. 14. P. 105–121.
- Dawodu B., Aderolu Z., Elegbede I.O., Adekunbi F. 2015. Consequences of Anthropogenic Activities on Fish and the Aquatic Environment. *Poultry, Fisheries & Wildlife Sciences.* Vol. 3. Issue 2. P. 138–151. DOI: 10.4172/2375-446X.1000138.
- Droppers B., Franssen, Wietse H.P. et al. 2020. Simulating human impacts on global water resources using VIC-5. *Geoscientific Model Development.* Vol. 13. P. 5029–5052. DOI: 10.5194/gmd-13-5029-2020.
- Elliott J.A., Bell V.A. 2010. Predicting the potential long-term influence of climate change on vendace (*Coregonus albula*) habitat in Bassenthwaite Lake, U.K. *Freshwater Biology.* Vol. 56. P. 395–405. DOI: 10.1111/J.1365-2427.2010.02506.X.
- Kraak S.B.M., Haase S., Minto C., Santos J. 2019. The Rosa Lee phenomenon and its consequences for fisheries advice on changes in fishing mortality or gear selectivity. *ICES Journal of Marine Science.* Vol. 76. P. 2179–2192. DOI: 10.1093/icesjms/fsz107.
- Krivopuskova E., Tzvetkova N. 2022. Assessment of the trophic status of the coastal area of lake Vistytis (Kaliningrad region) by hydrochemical parameters. *Sustainable Fisheries and Aquaculture: Challenges and Prospects for the Blue Bioeconomy. Environmental Science and Engineering.* Springer. P. 41–51. DOI: 10.1007/978-3-031-08284-9_5.
- Kubiak J., Machula S., Czerniejewski P. et al. 2021. Long term changes in the quality and water trophy of Lake Ińsko – the effect of the re-oligotrophication? *Journal of Water and Land Development.* № 51. P. 30–37. DOI: 10.24425/jwld.2021.139012.
- Lehtonen T.K., Gilljam D, Veneranta L. et al. 2023. The ecology and fishery of the vendace (*Coregonus albula*) in the Baltic Sea. *Journal of Fish Biology.* Vol. 2. P. 1–13. DOI: 10.1111/jfb.15542.
- Nyberg P., Bergstrand E., Degerman E., Engderlein O. 2001. Recruitment of pelagic

- fish in an unstable climate: Studies in Sweden's four largest lakes. *Ambio*. Vol. 30. P. 559–564. DOI: 10.1579/00447447-30.8.559.
- Oreha J., Skute N. 2009. Morphological characteristics of local populations of European vendace *Coregonus albula* (L.) in some lakes of Latvia during 50 years. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B*. Vol. 63. № 6 (665). P. 271–278. DOI: 10.2478/v10046-010-0003-z.
- Sarvala J., Helminenb H., Venteläc A.M. 2020. Overfishing of a small planktivorous freshwater fish, vendace (*Coregonus albula*), in the boreal lake Pyhäjärvi (SW Finland), and the recovery of the population. *Fisheries Research*. Vol. 230. P. 105664. DOI: 10.1016/j.fishres.2020.105664.
- Schmidt M.B., Gassener H., Meyer E.I. 2005. Distribution and biomass of an underfished vendace, *Coregonus albula*, population in a mesotrophic German reservoir. *Fisheries Management and Ecology*. Vol. 2. P. 169–175. DOI: 10.1111/j.1365-2400.2005.00439.x.
- Walford L.A. 1946. A new graphic method of describing the growth of animals. *Biol. Bull.* Vol. 90. № 2. P. 141–147.
- Webber D.N., Thorson J.T. 2016. Variation in growth among individuals and over time: a case study and simulation experiment involving tagged Antarctic toothfish. *Fisheries Research*. Vol. 180. P. 67–76.
- Krivopuskova E.V., Sokolov A.V. 2017. Changes in the size-age structure of the vendace population of the Lake Vishtynetskoye (Kaliningrad region) in the period from 2007 to 2016. *Vestnik molodezhnoy nauki (Bulletin of Youth Science)*. № 3 (10). P. 23–28 (in Russian).
- Krivopuskova E.V., Sokolov A.V. 2018. The influence of seasonal temperature changes in Lake Vishtynetskoye (Kaliningrad region) on the vertical distribution of catches of vendace. *Vestnik molodezhnoi nauki (Bulletin of Youth Science)*. № 1 (13). P. 21–26 (in Russian).
- Mukhordova L.L. 1972. Current state and prospects for the development of fisheries on Lake Vishtynetsky, Kaliningrad region. *Proceedings of KTIRPH "Biology of commercial fish in inland waters of the Kaliningrad region"*. Issue 40. P. 83–89 (in Russian).
- Pravdin I.F. 1966. The Guide to Fish Studies. Moscow: Food industry Publ. 376 p. (in Russian).
- Ruygite Yu.K. 2009. Morpho-ecological characteristics and possibilities of commercial use of silver bream (*Blicca bjoerkna* L.) of the Vistula Lagoon of the Baltic Sea. *Abstract of the candidacy dissertation for biological sciences*. Kaliningrad. 24 p. (in Russian).
- Strelnikova A.P., Berezina N.A. 2021. Diversity of food spectra of vendace in the water bodies of Eurasia. *Transformatsiya ekosistem (Ecosystems Transformation)*. 2021. № 4 (3). P. 1–15 (in Russian).
- Shibaev S.V. 1987. Growth, energy balance and food supply of bream in the Cheboksary reservoir. *Proceedings of scientific works of GosNIORH*. № 276. P. 93–109 (in Russian).
- Shibaev S.V. 2004. Systems analysis in fishery research. Kaliningrad. KGTU Publ. 315 p. (in Russian).
- Burbakh A.S., Shibaev S.V. 2019. Growth of smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) in the rivers of the Curonian Lagoon basin of the Baltic Sea. *Proceedings of the International Baltic Maritime Forum: X National Scientific Conference "Aquatic bioresources, aquaculture and ecology of water bodies"*. Kaliningrad. P. 101–107 (in Russian).

REFERENCES

- Aldushin A., Shibaev S. 2022. Prospects of development of small-scale fisheries of vendace in Lake Vistytis, Kaliningrad Oblast, Russia. *Sustainable Fisheries and Aquaculture: Challenges and Prospects for the Blue Bioeconomy. Environmental Science and Engineering*. Springer. P. 85–96. DOI: 10.1007/978-3-031-08284-9_9.
- Bertalanffy L. 1964. Basic concepts in quantitative biology of metabolism. *Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*. Vol. 9. № 1–4. P. 5–37.
- Czerniejewski P., Strzelczak A., Machula S., Martinez-Bracero M. 2022. Abiotic factors as a long-term stressor for the vendace fisheries in Lake Ińsko (European Central Plains Ecoregion, Poland). *Journal of water and land development*. Special Issue. P. 24–33. DOI: 10.24425/jwld.2022.143718.
- Czerniejewski P., Wawrzyniak W. 2006. Management of vendace (*Coregonus albula*) in the lakes of north-west Poland in the late twentieth and early twenty-first centuries. *Arch. Pol. Fish.* Vol. 14. P. 105–121.
- Dawodu B., Aderolu Z., Elegbede I.O., Adekunbi F. 2015. Consequences of Anthropogenic Activities on Fish and the Aquatic Environment. *Poultry, Fisheries & Wildlife Sciences*. Vol. 3. Issue 2. P. 138–151. DOI: 10.4172/2375-446X.1000138.
- Droppers B., Franssen, Wietse H.P. et al. 2020. Simulating human impacts on global water resources using VIC-5. *Geoscientific Model Development*. Vol. 13. P. 5029–5052. DOI: 10.5194/gmd-13-5029-2020.
- Elliott J.A., Bell V.A. 2010. Predicting the potential long-term influence of climate change on vendace (*Coregonus albula*) habitat in Bassenthwaite Lake, U.K. *Freshwater Biology*. Vol. 56. P. 395–405. DOI: 10.1111/J.1365-2427.2010.02506.X.
- Kraak S.B.M., Haase S., Minto C., Santos J. 2019. The Rosa Lee phenomenon and its consequences for fisheries advice on changes in fishing mortality or gear selectivity. *ICES Journal of Marine Science*. Vol. 76. P. 2179–2192. DOI: 10.1093/icesjms/fsz107.
- Krivopuskova E., Tzvetkova N. 2022. Assessment of the trophic status of the coastal area of lake Vistytis (Kaliningrad region) by hydrochemical parameters. *Sustainable Fisheries and Aquaculture: Challenges and Prospects for the Blue Bioeconomy. Environmental Science and Engineering*. Springer. P. 41–51. DOI: 10.1007/978-3-031-08284-9_5.
- Kubiak J., Machula S., Czerniejewski P. et al. 2021. Long term changes in the quality and water trophy of Lake Ińsko – the effect of the re-oligotrophication? *Journal of Water and Land Development*. № 51. P. 30–37. DOI: 10.24425/jwld.2021.139012.
- Lehtonen T.K., Gilljam D, Veneranta L. et al. 2023. The ecology and fishery of the vendace (*Coregonus albula*) in the Baltic Sea. *Journal of Fish Biology*. Vol. 2. P. 1–13. DOI: 10.1111/jfb.15542.
- Nyberg P., Bergstrand E., Degerman E., Enderlein O. 2001. Recruitment of pelagic fish in an unstable climate: Studies in Sweden's four largest lakes. *Ambio*. Vol. 30. P. 559–564. DOI: 10.1579/00447447-30.8.559.
- Oreha J., Skute N. 2009. Morphological characteristics of local populations of European vendace *Coregonus albula* (L.) in some lakes of Latvia during 50 years. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B*. Vol. 63. № 6 (665). P. 271–278. DOI: 10.2478/v10046-010-0003-z.
- Sarvala J., Helminenb H., Venteläc A.M. 2020. Overfishing of a small planktivorous freshwater fish, vendace (*Coregonus albula*), in the boreal lake Pyhäjärvi (SW Finland), and the recovery of the population. *Fisheries Research*. Vol. 230.

- P. 105664. DOI: 10.1016/j.fishres.2020.105664.
- Schmidt M.B., Gassener H., Meyer E.I. 2005. Distribution and biomass of an underfished vendace, *Coregonus albula*, population in a mesotrophic German reservoir. *Fisheries Management and Ecology*. Vol. 2. P. 169–175. DOI: 10.1111/j.1365-2400.2005.00439.x.
- Walford L.A. 1946. A new graphic method of describing the growth of animals. *Biol. Bull.* Vol. 90. № 2. P. 141–147.
- Webber D.N., Thorson J.T. 2016. Variation in growth among individuals and over time: a case study and simulation experiment involving tagged Antarctic toothfish. *Fisheries Research*. Vol. 180. P. 67–76.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кривоpuskova Екатерина Владимировна – Калининградский государственный технический университет; 236022, Россия, Калининград; младший научный сотрудник кафедры водных биологических ресурсов и аквакультуры; ekaterina.krivopuskova@klgtu.ru. SPIN-код: 2911-0409, Author ID: 788461; Scopus ID: 57919850900.

Krivopuskova Ekaterina Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University; 236022, Russia, Kaliningrad; Junior Researcher of the Aquatic Biological Resources and Aquaculture Chair; ekaterina.krivopuskova@klgtu.ru. SPIN-code: 2911-0409, Author ID: 788461; Scopus ID: 57919850900.

Бурбах Анна Сергеевна – Калининградский государственный технический университет; 236022, Россия, Калининград; кандидат биологических наук, доцент кафедры водных биологических ресурсов и аквакультуры; anna.burbakh@klgtu.ru. SPIN-код: 8318-5494, Author ID: 1000422; Scopus ID: 57919861700.

Burbakh Anna Sergeevna – Kaliningrad State Technical University; 236022, Russia, Kaliningrad; Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Aquatic Biological Resources and Aquaculture Chair; anna.burbakh@klgtu.ru. SPIN-code: 8318-5494, Author ID: 1000422; Scopus ID: 57919861700.

Статья поступила в редакцию 14.02.2024; одобрена после рецензирования 29.07.2024; статья принята к публикации: 10.09.2024.

The article was submitted 14.02.2024; approved after reviewing 29.07.2024; accepted for publication 10.09.2024.