

ВОДНЫЕ БИОРЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

DOI: 10.24143/2073-5529-2021-1-7-13
УДК 681.7; 639.3; 628.93

ОБОСНОВАНИЕ МАСШТАБОВ ПОДОБИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В УСТАНОВКАХ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ

А. А. Недоступ, А. О. Ражев, Е. И. Хрусталева, К. А. Молчанова

*Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Российская Федерация*

Рассматриваются проблемы физического моделирования элементов установок замкнутого водоснабжения (УЗВ) и открытых садков аквакультуры (ОСА) для выращивания гидробионтов, в частности, поднимается тема обоснования правил подобия оптических величин. Постановка задачи строится на предположении, что внедрение «машинного зрения», учитывающего поведенческие реакции гидробионтов на условия выращивания, в частности воздействие света, сделает биотехнический процесс действительно управляемым в УЗВ и ОСА и, как следствие, более эффективным. Оценка величины воздействия света на биологические объекты с точки зрения глубины его проникновения в бассейны, степени рассеивания в группировке гидробионтов и других проявлений может стать важным элементом «машинного зрения». Это позволит выбрать оптимальный алгоритм биотехнического процесса, например, рассчитать величину суточной дозы корма, частоту кормления, выбрать оптимальное место для кормления, рассчитать целесообразные сроки сортировки, оптимальную плотность посадки и пр. Предлагаются дополнительные масштабы подобия для оптических величин, приводятся методы их вычисления и графики их зависимостей от геометрического масштаба C_l . Однако необходимо понимать, что достижение полного подобия принципиально невозможно, сколь бы ни был велик перечень критериев подобия.

Ключевые слова: оптические величины, масштаб, физическое подобие, установка замкнутого водоснабжения, открытый садок аквакультуры, гидробионты, поведение гидробионтов.

Для цитирования: Недоступ А. А., Ражев А. О., Хрусталева Е. И., Молчанова К. А. Обоснование масштабов подобия оптических величин в установках для выращивания гидробионтов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2021. № 1. С. 7–13. DOI: 10.24143/2073-5529-2021-1-7-13.

Введение

Перспектива такого направления аквакультуры, как выращивание гидробионтов в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) и открытых садках аквакультуры (ОСА) обусловлено взаимодействием двух групп факторов.

Первую группу формируют факторы, обуславливающие экологичность процесса выращивания гидробионтов в УЗВ и ОСА. С одной стороны, использование в установках артезианской воды позволяет присвоить выращиваемой продукции статус экологически чистой. Рыба, выращенная в УЗВ, признается в Евросоюзе экологически чистой [1, 2]. С другой стороны, возможность концентрации выходящей из УЗВ части технологической воды с органическим осадком позволяет утилизировать ее и исключить в той или иной мере загрязнение поверхностных водоемов.

Вторую группу составляют абиотические и биотические факторы, позволяющие в наибольшей степени реализоваться ростовой, адаптогенной, репродуктивной потенции у гидробионтов.

Современный уровень научного обоснования, реализованный в практике разведения и выращивания гидробионтов в УЗВ, позволяет говорить о возможности сокращения возраста

созревания рыб в 1,5–2 раза по сравнению с открытыми рыбоводными системами, о сокращении продолжительности выращивания посадочного материала и товарной рыбы в 2–3 и более раз [2, 3]. В УЗВ достигнута наибольшая величина рыбопродукции – 80–150 кг/м³ – у большинства выращиваемых рыб, у угря и клариевого сома – 300–500 кг/м³. Только в условиях УЗВ удастся реализовать полицикличные технологии разведения и выращивания рыб, когда в течение календарного года возможно 2 и более раз получать потомство рыб в равноотстоящие сроки, соответственно, столько же раз выращивать товарную рыбу. В этом случае речь идет о двукратном (и более) использовании в течение года одних и тех же инкубационных аппаратов, питомных и нагульных бассейнов. Как следствие, в 2–3 раза и более увеличивается величина рыбопродукции [2, 4, 5]. Однако при всей привлекательности приведенных цифр следует признать, что имеются резервы для увеличения эффективности выращивания гидробионтов в УЗВ. В основе метода повышения рыбопродуктивности должен быть учет поведенческих особенностей гидробионтов, проявляемых в ограниченных объемах бассейнов. Но одной визуальной оценки поведения гидробионтов недостаточно. Понять глубину происходящих изменений в поведении гидробионтов во времени и пространстве можно только на основе внедрения в процесс выращивания «машинного зрения». Восприятие в статике и динамике реакций гидробионтов на абиотические условия, плотность их распределения в объеме бассейна, дачу порций корма и иные факторы позволит при наборе определенного статистического материала создать модель управления процессом выращивания гидробионтов, которую можно использовать, заложив в программу, в качестве основного элемента управления биотехническим процессом.

Установление обратной связи между «машинным зрением» и поведенческой реакцией гидробионтов на условия выращивания сделает биотехнический процесс действительно управляемым и, как следствие, более эффективным. Важным элементом «машинного зрения» в этой связи может стать оценка величины воздействия света на биологические объекты с позиции глубины его проникновения в бассейны, степени рассеивания в группировке гидробионтов и других проявлений. На основании выполненной оценки можно выбрать оптимальный алгоритм биотехнического процесса, например, рассчитать величину суточной дозы корма, частоту кормления, место выдачи порций корма, целесообразные сроки сортировки, оптимальную плотность посадки и т. п.

Предваряя практическую реализацию «машинного зрения» в УЗВ, необходимо заложить основательную теоретическую базу с учетом всего многообразия учитываемых факторов, а также видовых и возрастных отличий объектов выращивания. В связи с этим в настоящей статье предлагается математическое обоснование масштабов подобию оптических величин в УЗВ, учитываемых при выращивании гидробионтов.

Постановка задачи

В ходе эксперимента шведских ученых при выращивании форели, когда свет включали только на период кормления, а затем восстанавливали сумеречный режим освещенности, был получен дополнительный эффект по скорости роста и эффективности конвертации пищи [6].

В опыте норвежских ученых в течение суток воспроизводили два искусственных суточных режима, что, по мнению исследователей, способствовало более раннему созреванию лосося при выращивании в садках в море [7].

Обоснование правил подобию физического моделирования УЗВ и ОСА для выращивания гидробионтов является важной задачей для определения характеристик оптических величин. Для соблюдения условий освещенности в УЗВ и ОСА требуется установка оптических датчиков. Расчет величин освещенности, фокусного расстояния, оптической силы позволит оптимизировать технологические процессы, увеличить продуктивность бассейнов УЗВ и ОСА и сократить расходы.

Основной задачей подобию оптических величин УЗВ и ОСА является определение параметров окуляра, линзы, имеющих различные характеристики, которые необходимы для «машинного зрения» в УЗВ и ОСА. При проектировании УЗВ и ОСА недостаточно масштабов физических характеристик гидродинамических и термодинамических, акустических процессов, протекающих в УЗВ при динамическом подобию, т. к. они не учитывают процессы оптики, протекающие в УЗВ и ОСА [8–11].

Рассмотрим размерности основных оптических величин (табл. 1).

Размерности оптических величин

Величина	Размерность
Длина волны	L
Период колебаний	T
Показатель (коэффициент) преломления	–
Сила света	J
Световой поток	J
Световая энергия	TJ
Освещенность	$L^{-2}J$
Светосила объектива	–
Оптическая сила	L^{-1}
Увеличение линейное, продольное	–
Увеличение окуляра, микроскопа, лупы	–
Угол отражения луча	–
Угол падения луча	–
Фокусное расстояние	L
Частота колебаний	T^{-1}
Поток излучения и мощность излучения	L^2MT^{-3}
Энергия излучения	L^2MT^{-2}

На основании [12] найдем масштабы подобия оптических величин.

Масштаб C_{Qe} энергии излучения L^2MT^{-2} через масштаб геометрических размеров C_l :

$$C_{Qe} = C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{10}{4}} = C_l^{\frac{5}{2}}. \quad (1)$$

Масштаб C_{Iv} силы света J :

$$C_{Iv} = C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{\frac{5}{4}}. \quad (2)$$

На основании сопоставления энергетических и световых единиц масштаб светового потока представим

$$C_{Фv} = C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{\frac{5}{4}}, \quad (3)$$

а масштаб световой энергии

$$C_{Qv} = C_l^{\frac{5}{4}} C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{\frac{5}{2}}. \quad (4)$$

Масштаб C_{Ev} освещенности $L^{-2}J$:

$$C_{Ev} = C_l^{-2} C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{-\frac{3}{4}}. \quad (5)$$

Масштаб $C_{Фe}$ потока излучения и мощности излучения L^2MT^{-3} :

$$C_{Фe} = C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{\frac{5}{4}}. \quad (6)$$

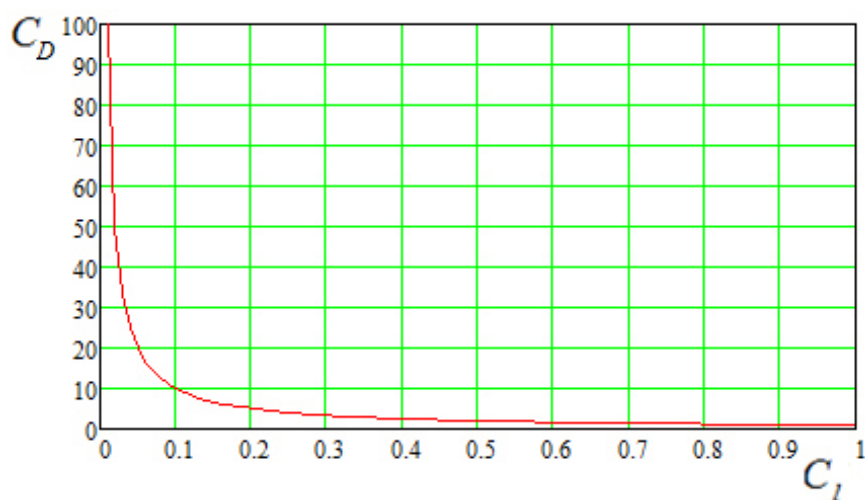
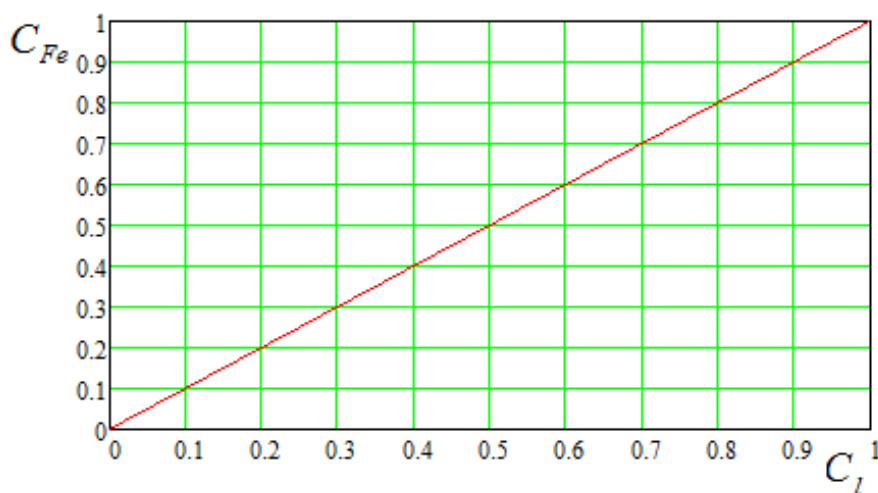
Материалы исследования

С учетом масштабов оптических величин (1)–(6) отобразим их в табл. 2.

Основные масштабы подобия оптических величин

Физические характеристики	Обозначение	Преобразование через масштаб C_l
Длина волны	C_λ	C_l
Период колебаний	C_t	$C_l^{5/4}$
Показатель (коэффициент) преломления	C_n	1
Сила света	C_{Iv}	$C_l^{5/4}$
Световой поток	$C_{\Phi v}$	$C_l^{5/4}$
Световая энергия	C_{Ov}	$C_l^{5/2}$
Освещенность	C_{Ev}	$C_l^{-3/4}$
Светосила объектива	C_{fv}	1
Оптическая сила	C_D	C_l^{-1}
Увеличение линейное, продольное	$C_{\beta v}$	1
Увеличение окуляра, микроскопа, лупы	$C_{\Gamma e}$	1
Угол отражения луча	C_{ev}	1
Угол падения луча	C_{ee}	1
Фокусное расстояние	C_{Fe}	C_l
Частота колебаний	C_{fe}	$C_l^{-5/4}$
Поток излучения и мощность излучения	$C_{\Phi e}$	$C_l^{5/4}$
Энергия излучения	C_{Oe}	$C_l^{5/2}$

Отобразим на графиках (рис. 1 и 2) зависимости $C_D = f(C_l)$ и $C_{Fe} = f(C_l)$.

Рис. 1. График зависимости $C_D = f(C_l)$ Рис. 2. График зависимости $C_{Fe} = f(C_l)$

На графике $C_{Fe} = f(C_I)$ (рис. 1) изображена гиперболическая зависимость масштаба C_D от масштаба C_I . На графике $C_{Fe} = f(C_I)$ (рис. 2) изображена прямая пропорциональность масштабов C_{Fe} и C_I .

Заключение

Таким образом, использование теории динамического подобия А. А. Недоступа при обосновании правил подобия оптических величин позволяет без проведения экспериментов на установках замкнутого водоснабжения и в открытых садках аквакультуры определять основные свойства «машинного зрения», которое необходимо для моделирования управления техническими средствами рыбоводства, а также процессами выращивания гидробионтов в УЗВ и ОСА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Domarkas A., Goncarenok O. ir kiti. Apytakinės žuvų auginimo sistemos Lietuvos hidrobiologu draugija. Vilnius, 2010. P. 280.
2. Хрусталеv Е. И., Курапова Т. М. и др. Современные проблемы и перспективы развития аквакультуры. СПб.: Лань, 2017. 416 с.
3. Хрусталеv Е. И., Хайновский К. Б., Гончаренок О. Е. Основы индустриальной аквакультуры: учеб. СПб.: Лань-Пресс, 2019. 280 с.
4. Хрусталеv Е. И., Молчанова К. А., Курапова Т. М. Полицикличные технологии выращивания рыбы в установках замкнутого водоснабжения // Материалы науч. мероприятий, приуроч. к 15-летию Юж. науч. центра Рос. акад. наук: Междунар. науч. форума «Достижения академической науки на Юге России»; Всерос. науч. конф. «Аквакультура: мировой опыт и российские разработки». Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2017. С. 376–378.
5. Хрусталеv Е. И. Полицикличные технологии в индустриальном рыбоводстве // Рыбное хозяйство. 2008. № 5. С. 57–59.
6. Sánchez-Vázquez F. J., Tabata M. Circadian rhythms of demand-feeding and locomotor activity in rainbow trout // Journal of Fish Biology. 1998. N. 52 (2). P. 255–267.
7. Зиланов В. К., Борисов В. М., Лука Г. И. Рыбное хозяйство Норвегии. М.: Изд-во ВНИРО, 2017. 296 с.
8. Недоступ А. А. Физическое моделирование гидродинамических процессов движения орудий рыболовства // Вестн. Том. гос. ун-та. Математика и механика. 2012. № 3 (19). С. 55–67.
9. Недоступ А. А. Физическое моделирование орудий и процессов рыболовства: моногр. Калининград: Изд-во КГТУ. 2012. 375 с.
10. Недоступ А. А., Ражеv А. О. К теории электродинамического подобия промышленных механизмов // Изв. Калинингр. гос. техн. ун-та. 2020. № 56. С. 61–70.
11. Недоступ А. А., Ражеv А. О., Хрусталеv Е. И., Бедарева О. М. К теории термодинамического подобия установок замкнутого водоснабжения для выращивания гидробионтов // Изв. Калинингр. гос. техн. ун-та. 2020. № 57. С. 40–53.
12. Недоступ А. А., Ражеv А. О., Хрусталеv Е. И. Обоснование масштабов подобия световых величин установок замкнутого водоснабжения для выращивания гидробионтов // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2020. № 3. С. 61–69.

Статья поступила в редакцию 28.04.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Недоступ Александр Алексеевич – Россия, 236022, Калининград; Калининградский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; зав. кафедрой промышленного рыболовства; nedostup@klgtu.ru.

Ражеv Алексей Олегович – Россия, 236022, Калининград; Калининградский государственный технический университет; младший научный сотрудник УНИД; progacpp@live.ru.

Хрусталеv Евгений Иванович – Россия, 236022, Калининград; Калининградский государственный технический университет; канд. биол. наук, доцент; профессор кафедры аквакультуры, биологии и болезней гидробионтов; chrustaqua@rambler.ru.

Молчанова Ксения Андреевна – Россия, 236022, Калининград; Калининградский государственный технический университет; канд. биол. наук; зам. зав. кафедрой аквакультуры, биологии и болезней гидробионтов; kseniya.elfimova@klgtu.ru.



SUBSTANTIATING SCALES OF SIMILARITY OF OPTICAL QUANTITIES IN HYDROBIONT GROWING SYSTEMS

A. A. Nedostup, A. O. Razhev, E. I. Khrustalyov, K. A. Molchanova

Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russian Federation

Abstract. The article highlights the problems of physical modeling the elements of recirculating aquaculture systems (RAS) and open aquaculture cages (OAC) for hydrobionts growing, in particular, the question of substantiating the rules of optical quantities similarity has been raised. Formulation of the problem is based on the assumption that using the computer vision which controls the behavioral reactions of hydrobionts to the growing conditions (e.g. light effect) will make the biotechnological process controllable in RAS and OAC and, as a result, more efficient. Evaluating the light effect on biological objects as to the depth of its penetration into the basins, the degree of its dispersion among the aquatic organisms and other characteristics can become an important element of computer vision. This fact will help to choose the optimal algorithm for the biotechnical process, for example, to calculate the daily feed portion and feeding periods, to define the optimal place for feeding, to determine the appropriate sorting time, the optimal stocking density, etc. There have been proposed the additional similarity scales for optical quantities, methods for their calculation and graphs of their dependences on the geometric scale C_l . However, one should know that achieving the complete similarity is absolutely impossible, no matter how large the list of similarity criteria is.

Key words: optical quantities, scale, physical similarity, recirculating aquaculture system, open aquaculture cage, hydrobionts, behavior of hydrobionts.

For citation: Nedostup A. A., Razhev A. O., Khrustalyov E. I., Molchanova K. A. Substantiating scales of similarity of optical quantities in hydrobiont growing systems. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2021;1:7-13. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-5529-2021-1-7-13.

REFERENCES

1. Domarkas A., Goncarenok O. ir kiti. *Apytakinės žuvų auginimo sistemos Lietuvos hidrobiologų draugija* [Lithuanian Society of Hydrobiologists Circulating Fish Farming Systems]. Vilnius, 2010. P. 280.
2. Khrustalev E. I., Kurapova T. M. i dr. *Sovremennye problemy i perspektivy razvitiia akvakul'tury* [Modern problems and prospects for aquaculture development]. Saint-Petersburg, Lan' Publ., 2017. 416 p.
3. Khrustalev E. I., Khainovskii K. B., Goncharenok O. E. *Osnovy industrial'noi akvakul'tury: uchebnik* [Fundamentals of industrial aquaculture: textbook]. Saint-Petersburg, Lan'-Press, 2019. 280 p.
4. Khrustalev E. I., Molchanova K. A., Kurapova T. M. *Politsiklichnye tekhnologii vyrashchivaniia ryby v ustanovkakh zamknutogo vodosnabzheniia* [Polycyclic technologies for growing fish in recirculating aquaculture systems]. *Materialy nauchnykh meropriiatii, priurochennykh k 15-letiiu Iuzhnogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk: Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma «Dostizheniia akademicheskoi nauki na Iuge Rossii»; Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii «Akvakul'tura: mirovoi opyt i rossiiskie razrabotki»*. Rostov-na-Donu, Izd-vo IuNTs RAN, 2017. Pp. 376-378.
5. Khrustalev E. I. *Politsiklichnye tekhnologii v industrial'nom rybovodstve* [Polycyclic technologies in industrial fish farming]. *Rybnoe khoziaistvo*, 2008, no. 5, pp. 57-59.
6. Sánchez Vázquez F. J., Tabata M. Circadian rhythms of demand feeding and locomotor activity in rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 1998, no. 52 (2), pp. 255-267.
7. Zilanov V. K., Borisov V. M., Luka G. I. *Rybnoe khoziaistvo Norvegii* [Fisheries in Norway]. Moscow, Izd-vo VNIRO, 2017. 296 p.
8. Nedostup A. A. *Fizicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov dvizheniia orudii rybolovstva* [Physical modeling hydrodynamic processes of fishing gear movement]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika*, 2012, no. 3 (19), pp. 55-67.

9. Nedostup A. A. *Fizicheskoe modelirovanie orudii i protsessov rybolovstva: monografiia* [Physical modeling of fishing gear and fishing processes: monograph]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2012. 375 p.
10. Nedostup A. A., Razhev A. O. K teorii elektrodinamicheskogo podobiiia promyslovykh mekhanizmov [On theory of electrodynamic similarity of fishing mechanisms]. *Izvestiia Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2020, no. 56, pp. 61-70.
11. Nedostup A. A., Razhev A. O., Khrustalev E. I., Bedareva O. M. K teorii termodinamicheskogo podobiiia ustanovok zamknutogo vodosnabzheniia dlia vyrashchivaniia gidrobiontov [On theory of thermodynamic similarity of recirculating aquaculture systems for hydrobiont growing]. *Izvestiia Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2020, no. 57, pp. 40-53.
12. Nedostup A. A., Razhev A. O., Khrustalev E. I. Obosnovanie masshtabov podobiiia svetovykh velichin ustanovok zamknutogo vodosnabzheniia dlia vyrashchivaniia gidrobiontov [Substantiation of scale of similarity of light parameters of recirculating aquaculture systems for growing aquatic organisms]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2020, no. 3, pp. 61-69.

The article submitted to the editors 28.04.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nedostup Alexander Alekseevich – Russia, 236022, Kaliningrad; Kaliningrad State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Industrial Fishery; nedostup@klgtu.ru.

Razhev Alexey Olegovich – Russia, 236022, Kaliningrad; Kaliningrad State Technical University; Junior Researcher of the Department of Management of Research Activities; progacpp@live.ru.

Khrustalyov Evgeniy Ivanovich – Russia, 236022, Kaliningrad; Kaliningrad State Technical University; Candidate of Biology, Assistant Professor; Professor of the Department of Aquaculture, Biology and Diseases of Hydrobionts; chrustaqua@rambler.ru.

Molchanova Kseniia Andreevna – Russia, 236022, Kaliningrad; Kaliningrad State Technical University; Candidate of Biology; Deputy Head of the Department of Aquaculture, Biology and Diseases of Hydrobionts; kseniya.elfimova@klgtu.ru.

