

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВОДОЕМОВ, НАХОДЯЩИХСЯ В РАЗЛИЧНЫХ ЗОНАХ РЫБОВОДСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

О. В. УСОВА, В. В. КРУТЕНКО, М. М. УСОВ

*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407*

(Поступила в редакцию 02.04.2025)

Моделирование представляет собой один из общенаучных методов познания, в основе лежит использование (изучение) объекта, замещающего реальный объект (оригинал), т. е. использование модели. Применительно к гидробиологическим продукционным процессам таких моделей известно достаточно много, причем разного уровня сложности. Главное требование – включение в модель базовых природных закономерностей, а также определение некоторых начальных или исходных условий, относительно которых и должен в расчетном режиме исследоваться продукционный процесс. Установлено, что по ряду показателей водохранилища «Джгинне» и пруд «Александрийское» следует считать пригодными для рыбохозяйственной деятельности, благоприятными для выращивания карповых, растительноядных и хищных рыб с использованием пастбищной технологии, основанной на использовании рыбой естественной кормовой базы пруда. Водоем «Джгинне» и «Александрийское» следует отнести к эвтрофным водоемам, с кормностью у первого средней, у второго высокой. Рассчитано, что в случае использования естественного ихтиоценоза и наличия возможности к самовоспроизводству и росту, без вмешательства человека в идеальных условиях с пруда можно получить порядка 0,75 ц/га товарной рыбной продукции, что на 0,08 ц/га или 11,9 % больше, чем в условиях изучаемого водохранилища. Рассчитано, что предельная рыбопродукция, в случае формирования в исследуемом пруду сложного ихтиоценоза со смещением в сторону выращивания карпа в идеальных условиях, может составить 3,3 ц/га, в то время как у водохранилища это показатель способен достигнуть значения 3,47 ц/га. Определено, что средний суточный кислородный баланс пруда положительный и должен составлять $+ 3,28 \text{ гO}_2/\text{м}^2$ в сутки, у изучаемого водохранилища он может быть равен $3,1 \text{ гO}_2/\text{м}^2$ в сутки.

Ключевые слова: моделирование, продукционный процесс, естественная рыбопродуктивность, рыбоводный экологический планшет, рыбоводный гидробиологический планшет, пруд, водохранилище, поликультура, пастбищное рыбоводство.

Modeling is one of the general scientific methods of cognition, based on the use (study) of an object replacing a real object (original), i.e. the use of a model. Quite a few such models are known with regard to hydrobiological production processes, and of varying levels of complexity. The main requirement is to include basic natural laws in the model, as well as to determine some initial or baseline conditions, relative to which the production process should be studied in the calculation mode. It has been established that, according to a number of indicators, the Dzhinne reservoir and the Aleksandriyskoye pond should be considered suitable for

fishery activities, favorable for growing carp, herbivorous and predatory fish using pasture technology based on the use of the natural food base of the pond by fish. The Dzhinne and Aleksandriyskoye reservoirs should be classified as eutrophic reservoirs, with the former having an average food supply and the latter having a high food supply. It is calculated that in case of using natural ichthyocenosis and the possibility of self-reproduction and growth, without human intervention in ideal conditions, it is possible to obtain about 0.075 t/ha of commercial fish products from the pond, which is 0.008 t/ha or 11.9 % more than in the conditions of the studied reservoir. It is calculated that the maximum fish production, in case of formation of a complex ichthyocenosis in the studied pond with a shift towards carp cultivation in ideal conditions, can be 0.33 t/ha, while for the reservoir this indicator can reach 0.347 t/ha. It is determined that the average daily oxygen balance of the pond is positive and should be $+ 3.28 \text{ gO}_2/\text{m}^2$ per day, for the studied reservoir it can be equal to $3.1 \text{ gO}_2/\text{m}^2$ per day.

Key words: modeling, production process, natural fish productivity, fish-breeding ecological tablet, fish-breeding hydrobiological tablet, pond, reservoir, polyculture, pasture fish farming.

Введение. Развитие рыбоводства в 2021–2025 гг. предусматривается путем реализации ряда направлений, одним из которых является повышение естественной продуктивности рыболовных угодий [1].

Аквакультура – одна из наиболее интересных, разнообразных и важных сфер деятельности человека. Рыбное хозяйство Республики Беларусь представлено двумя основными направлениями: аквакультура (рыбоводство) – выращивание товарной рыб в искусственных условиях и ведение рыболовного хозяйства (рыболовство) – получение товарной продукции за счет вылова из естественных рыболовных угодий [2].

Оценить продукционные возможности того или иного естественного водоема страны крайне сложно, так как при этом должны быть учтены многие факторы среды и возможности самого водоема.

Поликультура – наиболее популярный и эффективный способ совместного выращивания нескольких видов рыб, различных по характеру питания и рыбопродуктивности. Обычно в поликультуре вводят представителей ихтиофауны, различающихся по спектру естественных кормовых организмов (зоо- и фитобентоса, зоо- и фитопланктона, макрофитов и т. д.), за счет чего происходит максимально полное использование кормовые ресурсы того или иного водоёма [3, 4].

Богатый фонд естественных и искусственных водоемов, потенциал продуктивности которых используется не всегда в достаточной мере, подразумевает развитие на их площадях так называемой пастбищной аквакультуры. Это направление предполагает рациональное использование природного продукционного потенциала. Преимуществом данного вида рыбохозяйственной деятельности являются минимальные

финансовые затраты для получения готовой товарной рыбной продукции [5].

Рациональное использование естественной кормовой базы водоема позволяет снизить себестоимость продукции аквакультуры по сравнению с интенсивным прудовым рыбоводством (высокие плотности посадки рыб, дорогостоящие корма и удобрения и т. д.) [5].

Считается, что запасы естественной кормовой базы в водоемах ограничены и могут обеспечить прирост рыбной продукции в диапазоне от 50 до 200 кг/га в зависимости от длины вегетационного периода, подбора объектов выращивания, показателей воной среды в период выращивания и т.д. [5].

Средняя величина естественной рыбопродуктивности водоемов Беларуси составляет для второй зоны рыбоводства – 120 кг/га, для третьей – 150 кг/га [6].

Исследования ученых по организации прудовых товарных хозяйств на базе естественных водоемов (озер, водохранилищ) показали, что данное направление только за счет использования естественной кормовой базы способно обеспечить выход товарной продукции до 100–150 кг/га. Сдвиг выращивания в сторону растительноядных рыб и во-все позволяет получить рыбопродуктивности порядка 308 кг/га [7].

Моделирование представляет собой один из общенаучных методов познания. В его основе лежит использование (изучение) объекта, замещающего реальный объект (оригинал), т. е. использование модели. Сведения, полученные при изучении модели, впоследствии переносятся на реальный объект. Важно, чтобы модель в главных своих свойствах однозначно соответствовала оригиналу. Только в этом случае сведения, полученные при ее изучении, могут принести пользу при их перенесении с модели на оригинал [8, 9].

В последнее время чаще всего математические модели, в том числе различных природных экосистем, реализуются в виде специального программного обеспечения для компьютеров, что позволяет в режиме опережающего прогнозирования анализировать большое количество возможных откликов природного объекта, например, водоема, на те или иные антропогенные воздействия, выбирая для практического использования те варианты, которые лучше отвечают нашим интересам [8, 9].

Цель работы: расчет потенциальных возможностей водоемов, находящихся в различных рыбоводных зонах Республики Беларусь методом моделирования продукционных процессов.

Основная часть. Для достижения цели и выполнения поставленных задач были проанализированы 2 водоема: первый – водохранилище «Джинне» находящееся в Ивановском районе Брестской области в 23 км на север от г. Иваново, 3 км на запад от дер. Тышковичи, относящееся к системе р. Ясельда, левого притока р. Припять, бассейн р. Днепр относящийся к III зоне рыбоводства; второй – пруд «Александрийское» расположенный в Шкловском районе Могилевской области относящийся ко II зоне рыбоводства.

За время проведения исследований изучался гидрохимический режим водоемов согласно общепринятым методикам [10].

В качестве источника отдельной информации для моделирования был отобран материал из открытого источника по водохранилищу «Джинне» [11].

При определении видового состава и таксономической принадлежности пользовались определителями и каталогами. Для подсчета биомассы пользовались таблицами индивидуальных масс организмов [12, 13].

В основе расчетов лежала разработанная математическая модель включает в себя систему аналитических уравнений, количественно представляющих взаимосвязь между различными величинами, описывающими функционирование изучаемого объекта, а также набор данных, необходимых для решения этой системы уравнений (начальные условия, граничные условия, значения коэффициентов и т.д.) [8, 9].

Стандартные условия модели для расчета. Представлены в верхней части планшета и включают 6 характеристик, принятых в качестве точек отсчета для оценки состояния водоема. В их числе:

- 1-я – Трофические цепи обязательно на основе фитопланктона;
- 2-я – Экологический коэффициент равный 0,1;
- 3-я – Энергетическая ценность (стандарт) сырой биомассы 1 г = 1 ккал;
- 4-я – Длина сезона по схеме Гидрорыбпроекта. Это 100 дней с температурой воздуха более 15 °C для 3-й зоны рыбоводства (+/- 15 дней для других зон);
- 5-я – Температура 20 °C в 3 зоне рыбоводства (+/- 1 °C в других зонах);
- 6-я – Ускорение процессов в зависимости от изменения температуры на уровне $Q_{10} = 2$ (эмпирическое правило Вант-Гоффа) [8, 9].

В системе расчетных инструментов, характеризующих состояние рыбохозяйственных водоемов и их возможности с точки зрения кор-

мовой обеспечения ихтиоценозов и промысловой продуктивности использовался экологический планшет, а для определения кислородного баланса в водоеме – гидробиологический [8, 9].

Структура естественного ихтиоценоза водохранилища «Джинне» представлена на рис. 1.

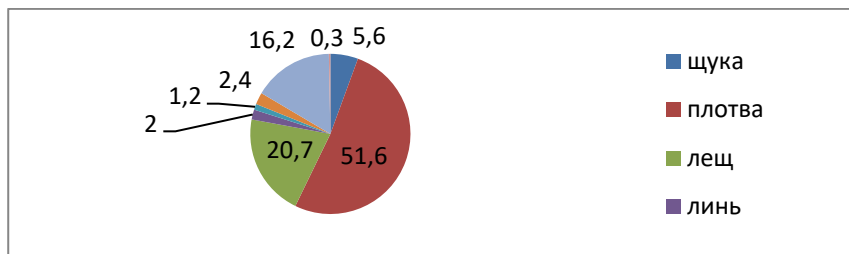


Рис. 1. Структура промысловых уловов водохранилища

Исходя из данных рис. 1 можно сказать, что основными видами рыб в уловах являются плотва, лещ и толстолобик, на долю которых суммарно приходится порядка 85 % от общего объема выловленной рыбы. Данных по ихтиоценозу «Александровское» нет, но исходя из типа водоема и гидрохимических показателей, он не будет значительно отличаться от «Джинне».

Естественная кормовая база водохранилища представлена в табл. 1.

Таблица 1. Состояние естественной кормовой базы изучаемых водоемов

Наименование	Водоем	
	«Джинне»	«Александровское»
Макрофиты	Степень зарастаемости 30 % Глубина произрастания – до 1,8 м	Степень зарастаемости 15 % Глубина произрастания – до 1,9 м
Фитопланктон	Зеленые водоросли – 45 % Сине-зеленые – 51 % Биомасса – 15,13 мг/л Численность 1,74 млн. кл/л	Зеленые водоросли – 77 % Сине-зеленые – 20 % Биомасса – 45,32 мг/л Численность 5,21 млн. кл/л
Зоопланктон	Доминирование: копепода-ротаториевые Биомасса – 2,4 г/м ³	Доминирование: ветвистоусые-кладоцеры Биомасса – 33,6 г/м ³
Зообентос	Доминирование: личинки комаров-хирономид Биомасса – 7,4 г/м ²	Доминирование: личинки комаров-хирономид Биомасса – 18,42 г/м ²

Анализируя естественную кормовую базу изучаемых водоемов, можно сказать, что водохранилище Джинне по всем показателям уступает пруду «Александровское»: по биомассе фитопланктона – на

30,19 мг/л, зоопланктона – на 31,2 г/м³, зообентоса – на 11,02 г/м². Водоем «Джинне» и «Александрийское» следует отнести к эвтрофным водоемам, с кормностью у первого средней, у второго высокой.

В водоемах Шкловского района выявлено произрастание 18 видов макрофитов, относящихся к 16 родам, 10 семействам. Большое разнообразие произрастающих на прудах макрофитов может быть связано с тем, что пруды используются давно, а также представляют собой водоемы разного типа использования и назначения.

В целом оценив кормовую базу двух водоемов по составу и численности зоопланктона, зообентоса, фитопланктона и макрофитов, можно сказать о высоком уровне естественной кормовой базы, возможности их использовании для пастбищной аквакультуры.

Исходные данные для сравнения возможной естественной рыбопродуктивности водоема представлены в табл. 2.

Таблица 2. Ориентировочные параметры изучаемого водоема

Параметр	Водоем	
	«Джинне»	«Александрийское»
Площадь водоема, га	270,0	26,0
Прозрачность воды, м	0,8	0,5
Средняя глубина водоема, м	2,8	2,3
Продолжительность сезона, сут	110	82
Среднесезонная температура воды, °С	20	20
Исходное содержание кислорода в начале сезона, мг/л	7,4	7,2
Предполагаемая потенциальная посадка рыб, % от общей		
– растительноядные (белый амур)	10	10
– мирные всеядные (каarp)	85	85
– мелкие хищные (окунь)	3	3
– крупные хищные (щука)	2	2

По результатам, представленным в табл. 2 можно сделать вывод, что водоем по своим параметрам является среднестатистическим для эвтрофных водоемов II зоны рыбоводства (не большая прозрачность воды – 0,5 м, относительно невысокая средняя температура воды – 20 °С). Предполагаемая посадка рыб на естественное выращивание и доля отдельных видов рыб взята из актов зарыбления по предыдущим годам.

Расчетные моделированные показатели естественной, самостоятельно складывающейся рыбопродуктивности водоема с помощью экологического планшета (Рст.) для исследуемых водоемов представлены в табл. 3.

Таблица 3. Показатели предельной естественной рыбопродуктивности водоемов

Параметр	Водоем	
	«Джинне»	«Александрийское»
Базовое значение естественной рыбопродуктивности, ц/га	0,62	0,97
Глубина фотического слоя, м	1,6	1,0
Значение естественной рыбопродуктивности с учетом поправок на длину вегетационного сезона и температуру, ц/га	0,67	0,75
Предельно возможная продукция при самостоятельном иктиоценозе, ц	180,9	19,5
Предельно возможная продукция при направленном вселении рыб и использовании поликультуры, ц	939,19	85,767

Анализируя данные табл. 3 следует отметить, что по базовому значению продуктивности водоем «Александрийское» является более перспективным, однако ввиду меньшего количества дней в вегетационном периоде (82 суток и 110 суток соответственно) значение продуктивности значительно снижается и может составить 0,75 ц/га. Предельная продукция, которую можно получить с рассматриваемых водоемов у «Джинне» значительно выше ввиду больших фактических размеров (270 га и 26 га соответственно). Если же использовать целенаправленную поликультуру в изучаемых водоемах и сделать упор на посадку растительноядных рыб и карпа (снизив тем самым потери энергии при ее переходе с одного трофического уровня на другой), то размер продукции может достигнуть в идеальных условиях до 936,19 ц с водоема «Джинне» и до 85,767 ц с «Александрийское» соответственно.

Моделирование кислородного баланса пруда «Александрийское» и водохранилище «Джинне» с помощью гидробиологического планшета позволило предположить, что в случае отсутствия форс-мажорных обстоятельств (пасмурное лето, серость, дефицит продуцирующих кислород фитопланктонных организмов) он будет положительным и составит $+3,28 \text{ гO}_2/\text{м}^2$ в сутки и $+3,1 \text{ гO}_2/\text{м}^2$ в сутки в водохранилище. Опасности возникновения в пруду заморной ситуации нет, но в периоды повышения температуры следует внимательно следить за содержанием кислорода в воде.

Заключение. По ряду показателей водохранилище «Джинне» и пруд «Александрийское» следует считать пригодными для рыбохозяйственной деятельности, благоприятными для выращивания карповых, растительноядных и хищных рыб с использованием пастбищной тех-

нологии, основанной на использовании рыбой естественной кормовой базы пруда.

ЛИТЕРАТУРА

1. О Государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 1 февраля 2021 г. № 59 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/C22100059_1612904400.pdf – Дата доступа: 10.02.2025.
2. Барулин, Н. В. Стратегия развития рыбоводства в Беларуси / Н. В. Барулин // Наше сельское хозяйство. – 2020. – № 18(242). – С. 80–83.
3. Поликультура. [Электронный ресурс]. – 2025. – Режим доступа: <https://fish-farming.ru/471/> – Дата доступа: 20.02.2025.
4. Пастбищное рыбоводство на мелиоративных водоемах – перспективное направление аквакультуры Беларуси. [Электронный ресурс]. – 2025. – Режим доступа: https://catalog.ggau.by/downloads/SBORNIKI/2017/STSHP_VET_ZOO/179-180.pdf – Дата доступа: 20.02.2025.
5. Пастбищное рыбоводство: тенденции и перспективы. [Электронный ресурс]. – 2025. – Режим доступа: <https://fishretail.ru/news/pastbishchnoe-ribovodstvo-tendentsii-i-perspektivi-323218> – Дата доступа: 20.02.2025.
6. Жуков, П. И. Рыбные ресурсы Белоруссии. – Мн.: Урожай, 1983. – 127 с.
7. Рыбопродукция и рыбопродуктивность прудов [Электронный ресурс]. – 2025. – Режим доступа: <https://helpiks.org/9-14649.html>. – Дата доступа: 20.02.2025.
8. Купинский, С. Б. Биологические основы рыбоводства. Лабораторный практикум: учебно-методическое пособие / С. Б. Купинский, М. М. Усов, Р.М. Цыганков. – Горки: БГСХА, 2018. – 154 с.
9. Купинский, С. Б. Продукционные возможности рыбохозяйственных водоемов и объектов рыбоводства / С. Б. Купинский: уч. пособие. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 232 с.
10. Методические указания по организации гидрохимической службы в прудовых рыбодных хозяйствах / М-во рыб. хоз-ва СССР, Всесоюз. науч.-исслед. ин-т пруд. рыб. хоз-ва. – М., 1976. – 115 с.
11. Заключение государственной экологической экспертизы рыбоводно-биологическому обоснованию рыбохозяйственного использования водохранилища Джинне Ивановского района Брестской области. – № 221/08 от 6.10.2008 г., г. Минск.
12. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция/ Гос. науч. исслед. ин-т озер. и реч. рыб. хоз-ва, АН СССР, Зоол. ин-т; сост.: А. А. Салазкин, М. Б. Иванова, В. А. Огородникова – Л.: ГосНИОРХ, 1984. – 33 с.
13. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция / Гос. науч. исслед. ин-т озер. и реч. рыб. хоз-ва, АН СССР, Зоол. ин-т; сост.: А. А. Салазкин [и др.]. – Л.: ГосНИОРХ, 1984. – 51 с.