

Всю разработанную инновационную биотехнику мы рассматриваем как систему управления биотехникой воспроизводства [1]. Она основана на практическом использовании систем популяционно-видовых филогенетических адаптаций морского периода жизни, реализующих скрытые потенции вида и обеспечивающих максимальную продуктивность популяции [1, 9]. Её единство, общая направленность и конечная цель основываются на представлении о центральном месте ГГНС (и всего нейроэндокринного комплекса) в управлении материально-энергетическим балансом организменного и популяционного уровней биологической организации [1, 10].

#### Л и т е р а т у р а

1. **Гарлов П.Е.** Новые методы управления размножением промысловых рыб (посвящ. памяти проф. Н.Л. Гербильского) // Рыбное хозяйство. 11, 1990. с. 43-46. б. **Garlov P.E.** The neuroendocrine mechanisms analysis of fish breeding regulation is the main basis of biotech reproduction development. I. Ecological-histophysiological and experimental research. II. The development of fish reproduction biotech, based on neuroendocrinological research // Journal Advances in Agricultural and Biological Sciences. (Science and Business Publishing UK). Volume 1, Issue 2. (September, 2015) 2015. P. 27-43. Vol. 2, Issue 1 (February, 2016). 2016. P. 35-50.
2. **Pierantoni R., Cobellis G., Meccariello R., Fasano S.** Evolutionary aspects of cellular communication in the vertebrate hypothalamo-hypophysio-gonadal axis // Internat. Rev. Cytol. V. 218, 2002. P. 69-141.
3. **Allen P. J., Mitchell Z. A., DeVries R. J., Aboagye D. L., Ciaramella M. A., Ramee S. W., Stewart H. A., and Shartau R. B.** Salinity effects on Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus oxyrinchus* Mitchell, 1815) growth and osmoregulation. J. Appl. Ichthyol., 2014. P. 1-8.
4. **Balment R.J., Lu W., Weybourne E., Warne J.M.** Arginine vasotocin a key hormone in fish physiology and behaviour: a review with insights from mammalian models // Gen. Comp. Endocrinol. V. 147(1), 2006. P. 9-16.
5. **Zohar Y, Muñoz-Cueto JA, Elizur A, Kah O.** Neuroendocrinology of reproduction in teleost fish. Gen. Compar. Endocrinol. V. 165, 3, 2010. P. 438-55.
6. **Jobling M.** Environmental biology of fishes. Chapman, Hall, 1998. 455p.
7. **Hasler A.D., Scholz A.T.** Olfactory imprinting and homing in salmon. Investigations into the mechanism of the imprinting process. Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo; Springer Verlag. 1983. 134p.
8. **Stefansson S.O., Björnsson B.Th., Ebbesson L.O.E., and McCormic S.D.** Smoltification. In.: Fish Larval Physiology (Finn R.N., Kapor B.G. Eds.) Science Publishers, Inc. Enfield (NH) and IBN Publishing Co. Pvt. Ltd, New Delhi. 2008, Chapter 20. P. 639-681.
9. **Суворов Е.К.** Использование скрытых возможностей роста рыб. – Информационный сборник консультативного бюро ВНИИОРХ, 4, 1940. с. 7-9.
10. **Van Winkle W., Rose K.A., Shuter B.J.** Effects of climatic temperature change on growth, survival, and reproduction of rainbow trout: predictions from a simulation model // Canad. Journ. Fish. and Aquatic Sci. V. 54, 11, 1997. P. 526-542.

УДК 639.371.5

Канд. с.-х. наук **В.В. ШУМАК**  
(ПолесГУ, vshumak@yandex.ru)  
Аспирант **С.В. ТОРГАНОВ**  
(СПбГАУ, 16071961@mail.ru)

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА КЛАРИЕВОГО СОМА В АКВАКУЛЬТУРЕ

Клариевый сом, коэффициент массонакопления, рост, динамика, моделирование, программирование, технологический процесс

Продукция мировой аквакультуры ежегодно возрастает на 8 - 10%. В развитых странах в последние 25 лет постепенно заменяют традиционный промысел рыбы и морепродуктов их искусственным выращиванием. Основная часть искусственно выращиваемых рыб – это

традиционные объекты, такие как карп, толстолобик, белый амур, форель, осетровые. Однако в последнее время рыбоводы постсоветского пространства все больше уделяют внимание интродуцированным видам рыб, привлекающим высокими плотностями посадки и темпами роста. Особенно это касается таких объектов, как клариевые сомы и, в частности, африканский сом (*Clarias gariepinus*).

Наиболее наглядно, выглядит внедрение новых технологий белорусскими рыбоводами. На экономику республики сработал инвестируемый капитал израильского происхождения, были созданы рабочие места, на рынок поступала деликатесная продукция – клариевый сом, часть продукции была реализована за рубежом. Проект СП ИООО "Ясельда" был разработан и реализован по израильским технологиям с программным обеспечением, которое позволяло постоянно контролировать среду выращивания и автоматически поддерживать комфортные условия в производственном зале. Измерения датчиков фиксировались по каждому виду показателей и представляли собой исходный набор данных для последующего анализа и внесения корректировки в программы принятия решений. Целью проведенных исследований явились аспекты разработки моделей и программ роста рыбы как биологического объекта, используемого в процессе производства товарной рыбной продукции.

Нормативные положения, принятые при реализации инвестиционных проектов, имеют свою специфику для товарного выращивания рыбы.

Ответственный момент в биотехнике выращивания – это кормление рыбы в соответствии с потребностями и физиологическим состоянием. Сбалансированный корм позволяет получать полноценный посадочный материал в установленные сроки с минимальным расходом по соответствующим технологическим нормам. Продукционные корма обеспечивают потребности рыбы при товарном выращивании.

Нормы суточного рациона рассчитывались на каждый день выращивания, и корм выдавался в соответствии с разработанными ранее критериями расчета разовой нормы кормления в пределах установленных нормативов. Так, устанавливались технологические нормативы отходов рыбы на всех стадиях производственного процесса. За основу брали известный критерий Лапласа, в соответствии с которым при отсутствии сведений о гибели рыбы с учетом планирования и разработке программ выращивания использовали равновероятное стечение обстоятельств, поэтому закладывали одну и ту же норму отхода на каждый день в пределах данного технологического периода.

Был составлен алгоритм на каждый час выращивания рыбы для описания процесса роста с одними и теми же условиями [1]. Учитывались особенности потребности рыб в белке [2].

Разрабатывались основные зависимости и были составлены алгоритмы расчетов в приложении Excel, что позволило провести моделирование состояния наблюдаемых организмов рыбы. На установленных ранее зависимостях между кормлением рыбы, выделением твердых отходов жизнедеятельности и периодами покоя основывается расчет программы выращивания в течение одного технологического периода. Два разных метода расчета позволяют получать сочетаемые результаты при разработке моделей роста рыбы.

Постоянство массы тела рыбы является относительным явлением. Каждое измерение может дать различные результаты при соблюдении чистоты опыта и достаточной точности проведения взвешиваний. Рыба постоянно двигается, имеет определенный уровень физиологического обмена, поддерживающий жизнеспособность организма.

Как отмечено П. Ю. Шмидтом [3], критерием для определения жизни служит обмен веществ: каждое живое существо всегда проявляет способность воспринимать из окружающей среды различные вещества – твердые, жидкие или газообразные, перерабатывать их внутри себя, строить из них свой организм и выделять наружу продукты переработки. За счет накопления этих веществ в организме происходит рост и размножение живого существа, а за счет той энергии, которая образуется при протекающих химических реакциях, осуществляется движение, выделение тепла и другие проявления жизни.

При изучении роста клариевого сома было установлено, что наблюдается постоянное изменение живой массы в течение суток. Сутки по рекомендациям И. И. Шмальгаузена [4] и С. Г. Зуссера [5] были приняты как единица изучаемого жизненного цикла рыбы.

Интенсивность обмена веществ зависела от температуры среды обитания. При содержании рыбы в пределах оптимальных температур с наличием других благоприятных условий выращивания может наблюдаться предельно возможный рост организма (рис. 1). Потребление пищи вызывало увеличение живой массы рыбы, затем потребность в ее смачивании способствовало поступлению в организм дополнительных количеств воды. Переваривание пищи приводило к выведению твердых непереваренных частиц корма. Результатом обмена веществ в организме рыбы являлось выделение жидких отходов жизнедеятельности. После окончания переваривания, при отсутствии поступления следующей порции корма, обмен веществ в организме продолжался с затратами энергии, выделением отходов расщепления (рис. 2).

Суточная норма корма, например, при выращивании клариевого сома от 1 до 5 г среднестачной массы составляла 6,0% от массы содержащейся рыбы. Кормление было организовано 5 раз в сутки, разовая норма внесения 1,2% от исходной массы содержащейся рыбы. Сумма разовых норм кормления рыбы составляла суточную норму выдачи корма. Поэтому применили кормление рыбы по разработанному механизму, что соответствовало потреблению выданной разовой порции от суточной нормы и отражало рост рыбы (табл. 1), обеспечивало ее прирост выше на 3,5% по сравнению с контрольной группой. После повышения массы рыбы в результате роста от предыдущего кормления нормы разового кормления возрастали на 0,08% и в сумме составляли 6% от массы рыбы в сутки.

При составлении алгоритма в приложении Excel использовали наблюдаемые ранее зависимости между кормлением рыбы, выделением твердых отходов жизнедеятельности и периодами покоя.

Расчет по одному и тому же алгоритму уже был использован для всего месяца или для технологического периода с одинаковым ритмом кормления. Смена технологического периода требовала разработки нового алгоритма.

Первый час – после потребления рыбой гранулированного сухого корма шло дополнительное потребление воды для обеспечения процесса переваривания, так как влажность задаваемого корма около 12%.

Второй час после кормления – шло переваривание пищи, ее усвоение и образование массы экскрементов из непереваренных частей гранулированного корма. Потреблялось около 70% воды от массы поглощенного корма.

Третий час после кормления – формировался и наблюдался выброс твердых фекальных масс в количестве 30% от потребленного корма. Уровень обменных процессов снижался.

Четвертый час после кормления – шло выделение жидких фракций отходов обмена веществ в количестве 90% поглощенной ранее влаги для обеспечения нормального переваривания. Заканчивалось усвоение переваренной части корма, рыба испытывала потребность в питании, активизировалась.

Такие функциональные особенности организма проявлялись после каждого кормления, процедуры выделения отходов повторялись.

Ночью, когда организм рыбы понижал уровень обменных процессов, происходило снижение активности движения, сокращались затраты энергии на обмен, но продолжала работу кровеносная и системы дыхания, а также выделительная система, так как жидкие и другие отходы жизнедеятельности выводились из организма рыбы. В расчетах принимали минимальный уровень обмена в отсутствии питания за 0,2% для создания модели роста организма рыбы, на 4 и 5 часов утра, как самые низкие уровни обмена в течение суток. В 3 и 6 часов принимали значения выделений в пределах 0,3% от массы тела рыбы как значения, отражающие снижение активности в ночное время и восстановление активности в

преддверии светового дня. В остальное время суток пользовались ранее установленными зависимостями.

Поддерживаемая постоянно температура в 28<sup>0</sup>С вела к неоправданным потерям энергии и соответственно финансовым затратам. Данные по графику суточного хода температуры воды подтверждали, что снижение температуры подающейся в систему воды до 25<sup>0</sup>С через два часа после кормления, а также в течение 6 часов ночного времени позволит сэкономить около 12% затрачиваемой на подогрев воды энергии. Таким образом, эффективность выращивания повышалась, себестоимость товарной продукции снижалась.

О пользе установления переменного температурного режима в комфортных для вида пределах говорится во многих научных работах. Главной задачей при культивировании любых организмов является создание для них комфортных для роста условий с наименьшими затратами ресурсов.

Многолетние исследования рыб показывают, что ни в каком статичном режиме абиотических факторов по параметрам роста, энергетике и физиологического состояния не реализуется оптимум существования рыб.

Он достигается только в условиях астатичности соответствующего фактора, колебания которого по своим характеристикам (амплитуде и частоте колебаний, их расположению на шкале экологической валентности) наиболее благоприятные для данного вида рыб.

Периодические отклонения фактора от его оптимального стационарного значения не ухудшают, а резко улучшают показатели роста, использование ассимилированной пищи на рост, увеличивают расход энергии на прирост единицы массы тела, устойчивость к экстремальным условиям среды (дефициту кислорода, высоким температурам, пороговым значениям рН и солености). Ни в каких стационарных условиях не достигается тех положительных показателей выращивания рыб, какие наблюдаются при благоприятных астатичных режимах. То есть никакой из оптимальных статичных режимов не соответствует биологическим потребностям рыб [6, 7].

Можно сделать заключение, что поддержание астатичного режима выращивания позволяет создавать условия более приближенные к естественной среде обитания и дает возможность мобилизации резервных возможностей организма для оптимизации обмена веществ.

В оптимальных переменных температурных режимах, например, молодь рыб растет намного быстрее, чем при любых постоянных температурах. Одновременно существенно повышается эффективность использования потребленной пищи на рост, снижается интенсивность дыхания и расход кислорода на прирост единицы биомассы. Молодь, выращенная в переменных терморежимах, от контрольной, содержащейся при постоянных температурах, эквивалентных по сумме тепла, отличается большей выживаемостью, резистентностью к дефициту кислорода, повышению температуры, солености, имеет большую концентрацию гемоглобина и эритроцитов [8].

Создание оптимальных условий в аквакультуре решается как организационная проблема, чисто технические решения позволяют обеспечить необходимые режимы содержания объектов выращивания. Биотехника выращивания рыб должна ориентироваться на поддержание не постоянных, а оптимальных переменных параметров гидрологических факторов, что позволит обеспечить высокие коэффициенты массонакопления у рыб, в пределах их генетического потенциала роста, улучшить их физиологическое состояние и оптимизировать затраты ресурсов.

Моделирование процессов роста позволяет расширить обозримые границы изучения процессов накопления и обмена вещества в организме рыбы, детализировать и принять к исследованию как новый доступный материал.

Плановые показатели реализовывались за 210 дней выращивания – от среднештучной массы 1 г рыба достигала товарной массы 1,5 кг. Отход за время выращивания составлял не более 20%. Предусматривалось как минимум две сортировки и рассадки рыбы. При

составлении программы выращивания автор подходил к расчетам на основе коэффициента массонакопления [10], с последующим моделированием процессов роста, отходов и кормления рыбы, выделения аммонийного азота в пересчете на живую массу. При отсутствии данных по отходу рыбы на каждый день учитывалась выживаемость рыбы за весь технологический период, которая позволяла, опираясь на критерий Лапласа, считать отход равномерным как наиболее вероятный.

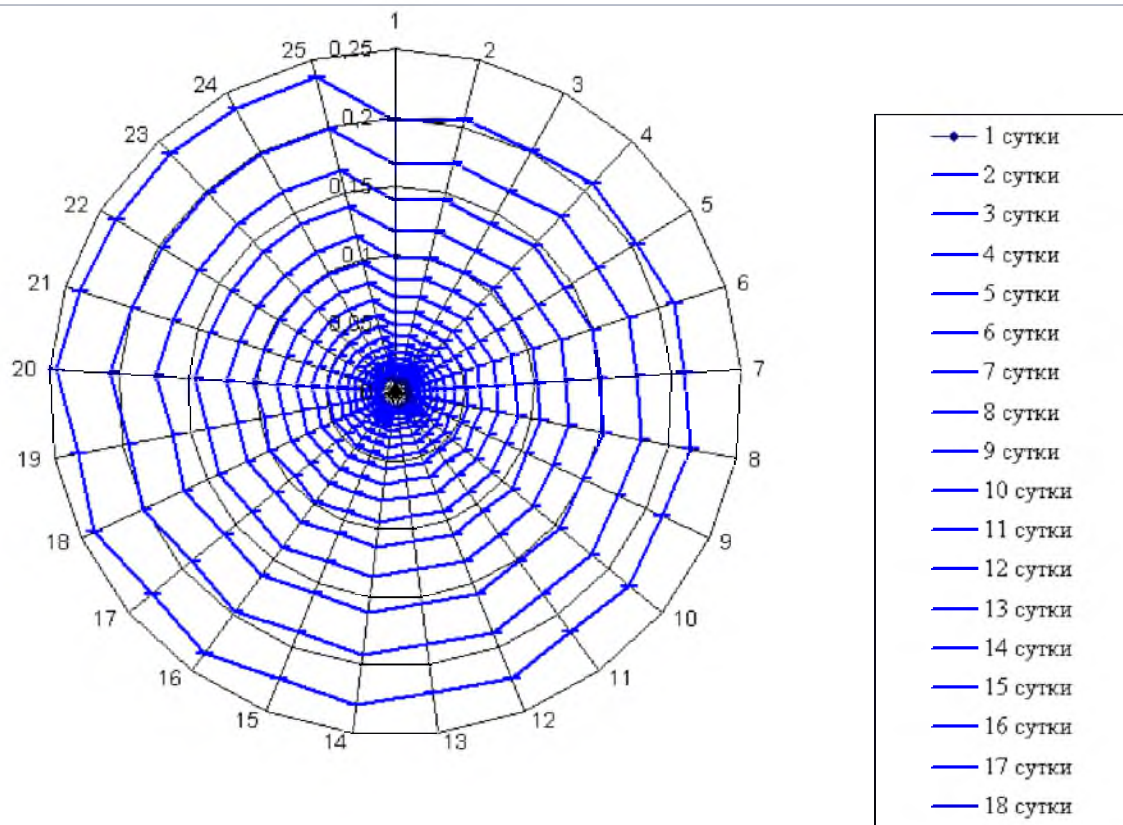


Рис. 1. Рост личинки клариевого сома в течение 18 суток (мг), СП ИООО "Ясельда", 2012 г.

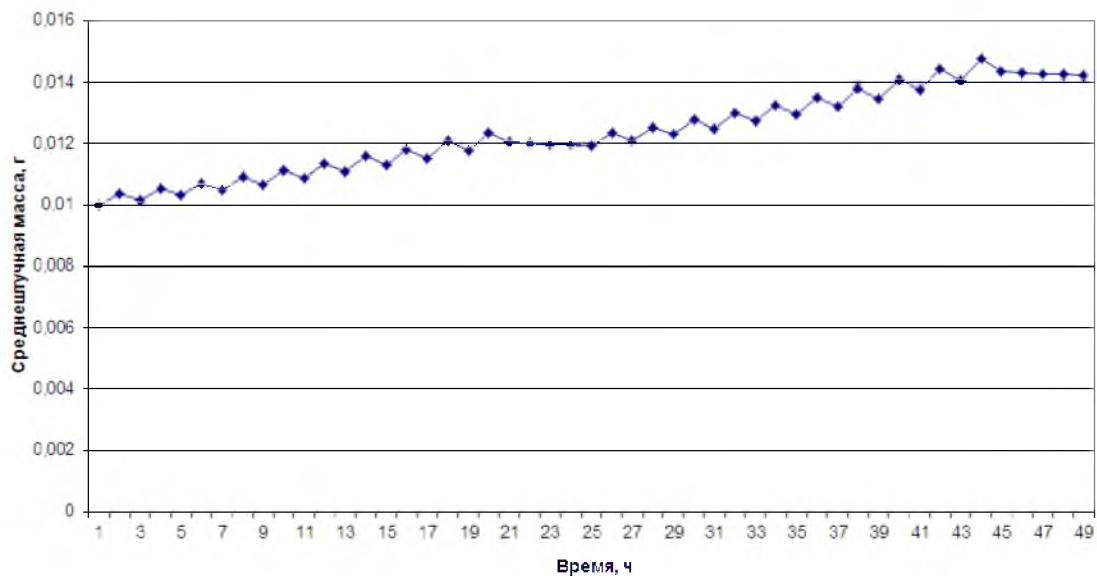


Рис. 2. Динамика роста личинки клариевого сома в течение 2 суток (мг), СП ИООО "Ясельда", 2012 г.



В научной литературе есть сведения, что происходит снижение уровня обменных процессов через несколько часов после питания и в ночное время. Так, отмечают, что через 2 ч после кормления самый высокий уровень потребления кислорода, а через 3 ч его потребление снижается в 2-3 раза. Но в то же время сохраняется относительно постоянный уровень выделений аммонийного азота – около 20 мг/кг×ч [11].

Таким образом, в рабочие таблицы по товарному выращиванию клариевого сома вносили расчеты по выделению общим количеством рыбы аммонийного азота. Отмечали рост соотношения выделений аммонийного азота к общей массе внесенного корма. Выращивание клариевого сома в аквакультуре требовало особого внимания к качеству кормов, их соответствия потребностям данного вида рыбы, так как при внесении недоброкачественного корма нагрузка на среду обитания заметно увеличивалась.

Было предусмотрено независимое аварийное энергообеспечение при внезапном отключении энергоснабжения. Особое внимание обращалось на обеспечение качества воды в заключительный период, в период товарного выращивания при больших плотностях посадки достаточно крупной рыбы с целью обеспечения качества продукции.

Достигалась продуктивность около 200 кг/м<sup>3</sup> за 210 дней, или в пересчете на год, с учетом санитарно-ветеринарных мероприятий, не менее 300 кг/м<sup>3</sup>, при повторении следующего цикла выращивания.

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

Проведенное изучение массонакопления клариевого сома при известных технологических условиях выращивания позволило разработать модели роста посадочного материала и более старших возрастных групп. Модели описывают процессы массонакопления в табличной форме и в графической форме, дают возможность отразить динамику изменения живой массы в течение суток вплоть до 1 часа.

Моделирование технологических процессов позволило сделать ряд выводов по детализации технологических процессов в аквакультуре:

- 1) модели, с известной долей допущения, позволяют отразить динамику среднештучной массы рыбы за исследуемый период;
- 2) отмечается динамика роста в течение суток, принятых к изучению как единица биологического цикла обмена вещества и энергии в теле рыбы;
- 3) получено подтверждение ведущей роли систем, обеспечивающих накопление в теле питательных веществ корма и выделения продуктов обмена;
- 4) детализация программы роста и технологических параметров выращивания позволила определить сложные места в организации производственного процесса;
- 5) модели роста служат основой программирования производственного процесса, могут быть использованы для расчета многовариантных процессов организации и ведения рыбного хозяйства;
- 6) программы выращивания учитывают в качестве основы биологические потребности вида, на базе которых разрабатываются технологические параметры, требующие технического обеспечения и позволяющие определить необходимые затраты экономических ресурсов.

Все материалы принимают достаточно подробное изложение с помощью приложения Excel, что на современном этапе востребовано в связи с активным поиском возможностей детализации наблюдений и проведенных исследований, а математические методы в аквакультуре позволяют получить до 9 и более знаков после запятой.

#### Литература

1. **Лапчик М.П.** Вычисления. Алгоритмизация. Программирование. – М.: Просвещение, 1988. – 210 с.
2. **Остроумова И.Н.** Потребность рыб в белке и ее особенности у личинок в связи с этапами развития пищеварительной функции: Сб.науч. тр. - Вып. 194. – Л.: ГосНИОРХ, 1983. – С. 3–18.
3. **Шмидт П.Ю.** Миграции рыб. – М.: Из-во академии наук СССР, 1947. – 362 с.

4. **Шмальгаузен И.И.** Рост и дифференцировка / Избр. тр. в 2-х томах. – Киев: Наук. думка. – 1984. – Т. 1. – 176 с.
5. **Зуссер С.Г.** Суточные вертикальные миграции рыб. – М.: Пищ. пром-ть, 1971. – 224 с.
6. **Константинов А.С.** Влияние колебаний температуры на рост, энергетику и физиологическое состояние молоди рыб. Изв. АН. Сер. Биол. (Россия). – 1993. – №1. – С. 55–63.
7. **Константинов А.С.** Статический и астатический оптимум абиотических факторов в жизни рыб. (I Конгр. ихтиол. России, Астрахань, сент., 1997). Тез. докл. – С. 221.
8. **Константинов А.С., Зданович В.В.** Оптимизация роста, энергетики и физиологического состояния рыб осцилляцией абиотических факторов среды (I Конгр. ихтиол. России, Астрахань, сент., 1997). Тез. докл. – С. 222.
9. **Законнов В.В.** Осадкообразование в водохранилищах волжского каскада: Автореф. дис...доктора географических наук. – М., 2007. – 48 с.
10. **Шумак В.В.** Методы повышения эффективности использования водоемов комплексного назначения: Монография. – Минск: "Мисанта", 2014. – 366 с.
11. **Микодина Е.В., Широкова Е.Н.** Биологические основы и биотехника аквакультуры африканского сома *Clarias gariepinus*. – М.: ВНИПКИЭиАСУ, 1997. – 44 с.