

УДК 639.371.2.07.053.1:556.531.4.001.57

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СРЕДЫ, КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СПОСОБ РЕШЕНИЯ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ АКВАКУЛЬТУРЫ

© 2014 Е.Н. Пономарева<sup>1</sup>, Г.Ф. Металлов<sup>1</sup>, О.А. Левина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Южный научный центр РАН, г. Астрахань

<sup>2</sup> Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань

Поступила 02.02.2014

В статье приводятся результаты исследований по улучшению качества рыболовной продукции при выращивании молоди осетровых в установках замкнутого водоснабжения. Анализируется эффективность применения солевой среды, как способа решения проблем пастбищной и товарной аквакультуры. Оцениваются рыболовно-биологические и физиолого-биохимические параметры молоди русского осетра в соленой и пресной воде.

**Ключевые слова:** аквакультура, русский осетр, установка замкнутого водоснабжения, рыболовные показатели, физиология, соленость.

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших рыбохозяйственных водоемов России до недавнего времени, отличающегося высокой биологической продуктивностью и уникальным видовым составом ихтиофауны являлось Каспийское море. Особый статус, среди водных биологических ресурсов этого водоёма принадлежит осетровым рыбам [1]. Однако в связи с осязаемым антропогенным воздействием на водные экосистемы крайне актуальной становится проблема сохранения биологического разнообразия рыб этого водоёма. Ежегодно снижаются запасы практически всех экологических групп рыб, в том числе и осетровых.

Между тем осетровые рыбы – интересны не только как предмет исследования эволюционных преобразований животного мира, но и как исключительно ценный объект промысла, объем вылова, которых значительно сократился за последние десятилетия. В результате сильного антропогенного воздействия (браконьерство на путях нерестовых миграций, нарушение гидрологического режима на нерестилищах и т.д.) естественное воспроизводство осетровых на основных реках Каспийского бассейна находится на критическом уровне. В условиях снижения эффективности естественного воспроизводства этих рыб ведущую роль в восстановлении их запасов в настоящее время играет искусственное воспроизводство, масштабы которого сокращаются [2].

Основными причинами сокращения искусственного воспроизводства являются: снижение уловов осетровых рыб, плохое качество производителей естественной генерации и низкая эффективность работы рыболовных заводов за счёт устаревшей технологии. Для совершенствования

методов искусственного воспроизводства с целью сохранения и восстановления запасов этих рыб необходимо проведение комплексных физиологических и рыболовно-биологических исследований.

В связи с этим важнейшим условием получения качественной рыболовной продукции при выращивании молоди осетровых в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) явилось создание таких условий, при которых параметры искусственной среды соответствовали бы естественным. Это предполагало, выращивание молоди в 5‰ солевой среде, более эффективное регулирование других гидрохимических показателей, очистку от метаболитов и постоянный физиологический контроль за состоянием рыб. Выращивание молоди в среде максимально приближённой к естественным условиям позволяло ожидать более высокую выживаемость молоди осетровых рыб после её интродукции в Северный Каспий [3].

Многолетние исследования солеустойчивости осетра, белуги, севрюги на ранних этапах онтогенеза свидетельствуют об их широкой эвригалинности. Ранняя эвригалинность формируется за счёт органов, участвующих в водно-солевом обмене (хлоридсекретирующие клетки жабр, почки, интерреналовая и щитовидные железы, гипоталамо-гипофизарный комплекс) и расценивается, как адаптация, направленная на снижение смертности потомства. Изменение солености вызывает у молоди активные поведенческие реакции, наблюдается избирание оптимальных солевых зон, изменение в двигательной и пищевой активности [4-10]. Однако, подобные исследования ориентировались в первую очередь на изучение выживаемости молоди в различных градиентах солености. При этом не всегда учитывалась динамика осмоляльности крови, а так же изменения её основных биохимических показателей, характеризующих белковый, жировой и окислительный обмены.

Пономарева Елена Николаевна, доктор биологических наук, профессор, aqua-group@yandex.ru; Металлов Геннадий Федорович, доктор биологических наук, профессор, aqua-group@yandex.ru; Левина Ольга Александровна, магистр, levina90@inbox.ru

Успех адаптации к солёности во многом зависит от способности рыб перестраивать свой водно-солевой обмен. У русского осетра в Южном Каспии осмоляемость сыворотки крови находится в пределах 264-368 мосм/кг H<sub>2</sub>O. При миграции рыб из более солёного Южного Каспия в опреснённый Северный Каспий наблюдается постепенное снижение осмоляемости сыворотки крови. Если в более южных участках моря этот показатель незначительно превышает осмоляемость морской воды или почти равен ей, то в Северном Каспии наблюдается гипертония, осмоляемость сыворотки крови превышает её уровень в среде обитания и колеблется в пределах 219-322 мосм/кг H<sub>2</sub>O [10].

Проведенные ранее исследования на молодях гибридных форм осетровых (русско-ленский осетр, стербел) так же свидетельствовали об их высоком уровне адаптивности к оптимальной солевой среде [3,11]. Выявлено стимулирующее влияние солёности на пластический обмен и уменьшение последствий воздействия искусственных условий выращивания в УЗВ на физиологическое состояние молодежи.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование влияния солевой среды на молодёжь осетровых было выполнено в 2013 году в лаборатории водных биоресурсов и аквакультуры на базе экспериментального аквариального комплекса «Кагальник» Южного научного центра РАН. В качестве объекта исследований использовали молодёжь русского осетра (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1896).

Экспериментальная молодёжь содержалась в 2-х пластиковых бассейнах (ИЦА-1) с пресной (контроль) и солёной (опыт) водой в диапазоне оптимальных параметров водной среды. Солевая среда – это раствор поваренной соли (NaCl) солёностью 5 ‰ (5 г/л). Концентрация соли контролировалась рефрактометром Klilong RHS-10ATC. Ежедневно 5% объёма экспериментальной среды обновлялось.

В течение всего периода исследования проводили наблюдения за термическим и гидрохимическим режимами. Температуру, кислород и рН измеряли три раза в сутки. Для этого использовали специальные приборы: термооксиметр Cyber Scan DO 300, рН-метр HANNA. Исследуемые гидрохимические показатели находились в пределах, допустимых для выращивания молодежи осетровых рыб. Температурный режим поддерживался на уровне 20-22 °С, кислородный режим изменялся в пределах 90-100%, значения рН составляло 7-8 ед.

Для контроля и измерения содержания биогенных элементов в водной среде использовали экспресс-метод фирмы Tetra. Исследование ос-

новных показателей качества воды выявило некоторое увеличение уровня нитритов (до 0,3 мг/л) и аммиака (до 0,5 мг/л). Систематически осуществлялся контроль за темпом роста рыбы. Взвешивание и измерение рыбы проводили согласно разработанным рекомендациям [12].

Состояние исследуемых рыб оценивали на основании морфологических показателей, выживаемости, коэффициента массонакопления [13], коэффициента упитанности по-Фультону. Среднесуточную скорость роста вычисляли по формуле сложных процентов [14]. Наблюдения за темпом роста осуществляли по мере выращивания рыб в опытах.

Физиологическое состояние рыб оценивали по концентрации гемоглобина в крови, СОЭ, уровню холестерина и общих сывороточных липидов, концентрации общего сывороточного белка. Взятие крови для исследований осуществляли прижизненно путем пункции хвостовой вены. Количество гемоглобина определяли колориметрическим способом, концентрацию холестерина в сыворотке крови энзиматическим колориметрическим методом, общий сывороточный белок определяли на рефрактометре ИРФ-22 [15], СОЭ определяли методом Панченкова. Общие липиды в сыворотке крови определяли с помощью набора реактивов фирмы PLIVA – Lachema [16,17]. Осмоляемость сыворотки крови определяли криоскопическим методом на осмометре ОСКР-1.

Рыб кормили гранулированным кормом «Bio-Mag» (1-2мм) по стандартным нормам с корректировками по поедаемости.

В исследованиях использовано 90 одновозрастных особей русского осетра, с обработкой 68 гематологических и биохимических проб. Выполнено 270 взвешиваний и измерений молодежи русского осетра. Результаты исследований обработаны с применением общепринятых методов биологической статистики и программы Microsoft Excel. Уровень различий оценивали с помощью критерия достоверности Стьюдента.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

До начала эксперимента вся рыба находилась в пресной воде. Средняя масса молодежи русского осетра, используемой в эксперименте, составляла 5,19±0,19 г (контрольный бассейн) и 5,52±0,21 г (опытный бассейн). Коэффициент упитанности по-Фультону находился на одном уровне и составлял 0,36±0,01 и 0,39±0,03 ед. в контрольном и опытном бассейнах соответственно. Исследования влияния солевой среды на темп роста молодежи русского осетра проводили в несколько этапов. За весь период эксперимента наблюдалось стабильное увеличение массы, при любых условиях эксперимента (таблица 1).

В течение первых 10-ти дней исследования (1-й этап) масса рыб, выращиваемых в пресной воде, увеличилась примерно на 21%. При выращивании в солености 5-‰ отмечено увеличение массы на 11%. Такие удельные массовые характеристики, как среднесуточный прирост, среднесуточная скорость роста, коэффициент массонакопления в контрольном бассейне были примерно в два раза выше, чем у рыб в бассейне с экспериментальной солевой средой.

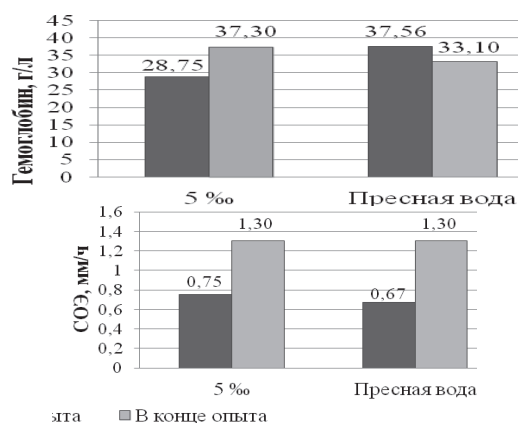
**Таблица. 1.** Рыбоводно-биологические показатели молоди русского осетра в соленой (числитель) и пресной (знаменатель) воде

Рыбоводно-биологические показатели	1 этап	2 этап	3 этап
Средняя масса, г	$6,3 \pm 0,3$ $6,1 \pm 0,31$	$\pm 0,40$ $\pm 0,40$	$8,7 \pm 0,50$ $8,5 \pm 0,50$
Абсолютный прирост, г	$1,11$ $0,58$	$1,8$ $1,8$	$0,6$ $0,6$
Среднесуточный прирост, г	$0,11$ $0,06$	$0,2$ $0,2$	$0,1$ $0,1$
Среднесуточная скорость роста, %	$1,98$ $1,08$	$2,6$ $2,6$	$0,7$ $0,8$
Коэффициент массонакопления, ед.	$0,04$ $0,02$	$0,05$ $0,05$	$0,01$ $0,02$
Коэффициент упитанности по Фульгону, ед.	$0,31 \pm 0,01$ $0,30 \pm 0,01$	$0,27 \pm 0,01$ $0,28 \pm 0,01$	$0,27 \pm 0,01$ $0,29 \pm 0,01$
Продолжительность выращивания, сут.	10	10	7

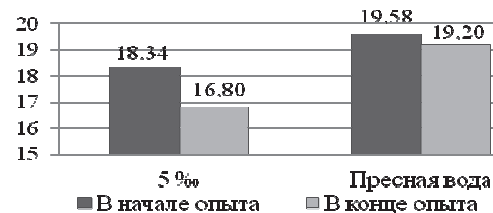
Однако, наблюдалось некоторое снижение показателя упитанности рыб в обоих вариантах эксперимента. Такая динамика массовых характеристик в контроле и опыте, вероятно, была связана с адаптацией молоди не только к новым условиям содержания (температурный и кислородный режим, солёность среды обитания), но и кормлению.

На втором этапе исследования наблюдался более интенсивный темп роста молоди русского осетра в обоих вариантах. Однако в солевой среде такие удельные массовые характеристики, как среднесуточная скорость роста, среднесуточный прирост увеличились на 60 и 70%, соответственно, тогда как в пресной воде увеличение этих показателей произошло на 45 и 23%, соответственно.

На завершающем этапе исследования (3-й этап) темп роста массы значительно снизился, как при выращивании в пресной, так и в солевой среде. Вероятной причиной тотального снижения темпа роста рыбы в обоих вариантах на данном этапе экспериментальных работ могло быть некоторое ухудшение экологической ситуации в бассейнах за счёт не достаточно эффективной работы фильтров нейтрализующих азотистые соединения в условиях замкнутого цикла.



**Рис. 1.** Динамика гемоглобина и СО<sub>2</sub> у русского осетра в экспериментальных условиях (n=18)



**Рис. 2.** Динамика общих сывороточных белков (г/л) у русского осетра в экспериментальных условиях (n=18)

С целью выявления изменений в обменных процессах изучалось физиологическое состояние выращиваемых объектов. Молодь, поступившая в эксперимент была изначально физиологически гетерогенна и по ряду показателей отличалась не только между собой, но и от рыб, исследованных в Северном Каспии. В частности выявлено достоверное различие ( $p < 0,05$ ) по концентрации гемоглобина в крови и сывороточных липидов. Концентрация холестерина и общих сывороточных липидов у рыб в обоих вариантах эксперимента превышала значения, характерные для осетровых рыб Северного Каспия. Повышенный уровень показателей липидного обмена характерен для рыб питающихся искусственными кормами.

В тоже время низкие показатели скорости оседания эритроцитов и гемоглобина, у экспериментальных рыб содержащихся изначально в пресной воде в сравнении с рыбами из естественной среды, свидетельствовали о недостаточном уровне гидратации крови и низкой активности окислительного обмена. При обитании разновозрастных осетровых в естественной среде нормой принято считать следующие значения этих показателей: гемоглобин – 50–80 г/л, сывороточный белок – 28–40 г/л, сывороточные липиды – 3–4 г/л, холестерин – 1,0–2,8 ммоль/л, СО<sub>2</sub> – 2–4 мм/час [18].

На заключительном этапе эксперимента молодь осетра, содержащаяся 27 дней в солёной воде, по исследуемым физиологическим параметрам достоверно не отличалась от рыб, содержащихся аналогичный период в пресной воде.

Однако, если сравнивать функциональное состояние рыб выдержанных в солевой среде с их исходным состоянием (пресная вода), то отмечено, что за весь период выращивания в условиях эксперимента наблюдается достоверное повышение концентрации гемоглобина и существенное снижение концентрации сывороточных липидов ( $p \leq 0,001$ ). Уровень холестерина изменился незначительно и находился в пределах, характерных для осетровых в Каспийском море. Выявленную динамику физиологических показателей у рыб выращенных в солёной воде можно рассматривать, как положительную тенденцию стабилизации их функционального состояния. Что под-

тверждается динамикой массовых характеристик у опытных рыб.

У молоди осетра выращенной в пресной воде, наоборот, по завершении эксперимента от исходных значений снизился уровень окислительного обмена и, практически не изменилась достаточно высокая концентрация сывороточных липидов. К тому же у всей экспериментальной молоди в пресной воде достоверно ( $p \leq 0,001$ ) снизился уровень холестерина, который является предшественником гормонов и входит в состав оболочек клеток. Выращивание в пресной воде не приводит к положительным сдвигам в физиологическом состоянии этих рыб.

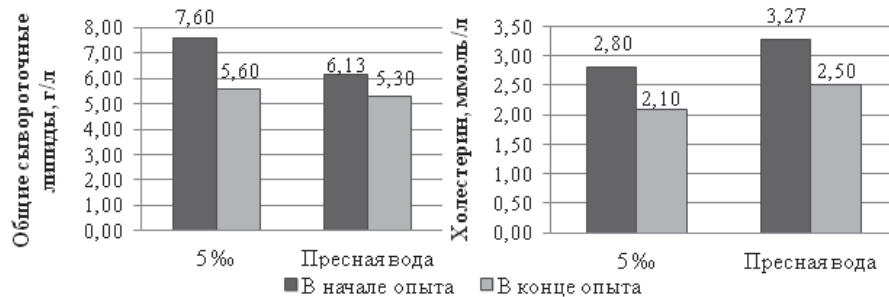


Рис. 3. Динамика биохимических показателей крови русского осетра в экспериментальных условиях (n=18)

Сравнительная оценка физиологического статуса выращиваемой молоди по концентрации осмотически активных веществ в сыворотке крови выявила гипертоничность особей по отношению к внешней среде, что характерно для разновозрастных осетровых в опреснённой зоне Северного Каспия (230-270 ммоль/кг  $H_2O$ ). В частности осмоляльность сыворотки крови в исходном состоянии (пресная вода) находилась на одном уровне у рыб в контрольном и опытном бассейнах, и составила соответственно  $221,0 \pm 7,8$  ммоль/кг  $H_2O$  и  $226,0 \pm 4,2$  ммоль/кг  $H_2O$  ( $p > 0,05$ ). В течение эксперимента осмоляльность сыворотки крови достоверно не изменилась как в опытном  $228,0 \pm 1,41$  ммоль/кг  $H_2O$ , так и в контрольном варианте  $239,0 \pm 9,2$  ммоль/кг  $H_2O$  ( $p > 0,05$ ). Осмоляльность солевой среды составила 134 ммоль/кг  $H_2O$ , пресной воды – 20,0 ммоль/кг  $H_2O$ . Гипертоничность среде обитания естественное состояние водно-солевого обмена у каспийских осетровых поддерживать которую в слабосоленой среде значительно легче, чем в пресной по причине излишней гидратации организма.

Таким образом, ранее установленный факт более высокого темпа роста у гибридных форм осетровых в солёной воде [11,19] подтвердился и при выращивании молоди русского осетра. Однако, наблюдаемое торможение прироста массы при выращивании в пресной и в солевой среде, возможно связано с более высокой чувствительностью русского осетра и его гибридов с сибирским осетром к параметрам окружающей среды и в частности к условиям выращивания в УЗВ.

Это свидетельствует о том, что своевременное вселение чистых линий проходных осетровых рыб в опреснённые участки моря становится объективным условием высокой выживаемости этих рыб и эффективного решения проблем пастбищной аквакультуры. Стимулирующее влияние ионов натрия на интенсивность всасывания пищевых компонентов в кишечнике рыб в данном случае рассматривается, как дополнительный аргумент в пользу ранней интродукции проходных видов осетровых в море [20,21].

При длительном выращивании особенно чистых линий осетровых в УЗВ искусственно создаваемые параметры водной среды должны приближаться к оптимальным значениям, что предполагает более эффективное регулирование и очистку от метаболитов. Необходимым условием выращивания качественной продукции в УЗВ является использование посадочного материала только с хорошим исходным физиологическим состоянием.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ходоревская, Р.П. Современное состояние запасов осетровых каспийского бассейна и меры по их сохранению / Ходоревская Р.П., Калмыков В.А., Жилкин А.А. // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. 2012. № 1. С. 99-106.
2. Расповов В.М. Естественное воспроизводство рыбных ресурсов и техногенное общество (на примере осетровых) / Расповов В.М., Сергеева Ю.В. // Вестник АГТУ: Серия Рыбное хозяйство. 2009. № 2. С. 14-16.
3. Матишов Г.Г. Практическая аквакультура (Разработки ЮНЦ РАН и ММБИ КНЦ РАН) / Матишов Г.Г., Е.Н.Пономарева, Н.Г.Журавлева. - Ростов н/Д.: ЮНЦ РАН. 284 с.
4. Гербильский Н.Л. Теория биологического прогресса осетровых и её применение в практике осетрового хозяйства / Гер-

- бильский Н.Л. // Учёные записки Ленинградского ун-та. Сер. биол. наук. 1962. Вып. 48. Часть 2. № 311. С. 5-18.
5. Дюбин В.П. Эвригалинность молоди себрюги на ранних этапах онтогенеза / Дюбин В.П. // Тезисы отчет. сессии ЦНИОРХ. 1972. С. 50-51.
  6. Краюшкина Л.С. Каспийские осетровые и эволюция механизмов осмотической и ионной регуляции у *Acipenseridae* / Краюшкина Л.С. // Первый конгресс ихтиологов России: Тезисы докладов. М.: ВНИРО, 1997. С. 432.
  7. Краюшкина Л.С. Особенности осмотической и ионной регуляции у морских проходных осетров – коротконосого *Acipenser brevirostrum* и острорылого *A. oxyrinchus* (*Acipenseridae*) / Краюшкина Л.С. // Вопросы ихтиологии. 1998. Т. 38. № 5. С. 684-692.
  8. Гершанович А. Д. Экология и физиология молоди осетровых / Гершанович А. Д., Пегасов В.А., Шатунов М.И. М.: Агропромиздат, 1987. 215 с.
  9. Семенова О.Г. Адаптация пресноводных и солоноватоводных видов осетрообразных (*Acipenseriformes*) к гиперосмотической среде: Автореф. дисс. биол.наук. Санкт-Петербург, 2002. 24 с.
  10. Металлов Г.Ф. Физиолого-биохимические механизмы эколого-адаптационной пластичности осморегулирующей системы осетровых рыб / Металлов Г.Ф., Пономарев С.В., Аксенов В.П., Гераскин П.П. Астрахань: АГТУ, 2010. 192 с.
  11. Пономарёва Е.Н. Динамика функционального состояния молоди гибрида русско-ленского осетра при моделировании условий выращивания в установке замкнутого водоснабжения / Пономарёва Е.Н., Металлов Г.Ф., Григорьев В.А., Ковалёва А.В., Пономарёв С.В., Левина О.А. // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2012. № 5. С. 72-76.
  12. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб/ И.Ф. Правдин. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
  13. Купинский С.В. Радужная форель – предварительные параметры стандартной модели массонакопления/ С.В. Купинский, С.А. Баранов, В.Ф. Резников // Сборник научных трудов: Индустриальное рыбководство в замкнутых системах. М.: ВНИИПРХ, 1985. Вып. 46. С. 109-115.
  14. Castell, J.D. Report of the EIFAC, IUNS and ICES Working Group on the standartization of the methodology in fish nutrition research. EIFAC Tech / Castell J.D., K.Tiewes // Pap. Hamburg, 1979. P. 1-24.
  15. Филиппович Ю.Б. Практикум по общей биохимии / Ю.Б. Филиппович, Т.А. Егорова, Г.А. Севастьянова. - М.: Просвещение, 1975. 318 с.
  16. Zolner, N. Uber die quantitate Bestimmung von Lipoiden (micromethode mittels die vieles naturlischen Lipoiden allen Bekannten plasmolipoiden) gemeinsamen sulfophosphovanillin-reaction / N.Zolner, K. Z.Kirch // Zeitschrift fur die gesamte experimentelle Medicin. 1962. Vol. 135. № 6. P. 545-561.
  17. Knight J. Chemical basis of the sulfo-phospho-vanillin reaction for estimating total serum lipids / J.Knight, S.Anderson, J.Rawle // Clin Chem, 1972. Vol. 18. P. 199-202.
  18. Металлов Г.Ф. Биохимические и морфофизиологические показатели русского осетра в современных экологических условиях Волго-Каспия / Металлов Г.Ф., Распопов В.М., Аксенов В.П., Чипинов В.Г. // Сборник материалов и докладов международного симпозиума «Тепловодная аквакультура и биологическая продуктивность водоемов аридного климата» (Астрахань 16-18 апреля 2007 г.). Астрахань, 2007. С. 484-486.
  19. Григорьев В.А. Влияние солености воды на рост и развитие гибридных форм осетровых рыб / Григорьев В.А., Ковалева А.В., Корчунов А.А. // Международная конференция «Осетровые рыбы и их будущее» (7-10 июня 2011 г.) / - Бердянск, 2011. С. 109-112.
  20. Sastry K.V. Effect of inhibitors on Na- dependent D-glucose transport in the small intestine of two teleost fishes / Sastry K.V., Garg V.K., Agraval V.P. // Indian. J. exp. Biol. 1977. Vol. 15. № 8. P. 661-662.
  21. Boge G. The use of intestinal brush border membrane vesicles for comparative studies of glucose and amino isobutyric acid transport by pour species of marine teleost / Boge G., Rigal A., Peres G. // Comp. Biochem. Physiol. 1982. Vol. 72. № 1. P. 85-89.

## ENVIRONMENT MODELLING, AS ECOLOGICAL WAY OF THE DECISION ACTUAL PROBLEMS OF THE AQUACULTURE

© 2014 E.N. Ponomareva <sup>1</sup>, G.F. Metallov <sup>1</sup>, O.A. Levina <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Science Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Astrakhan

<sup>2</sup> Astrakhan State Technical University, Astrakhan

Results of researches on improvement of quality of fish-breeding production are given in article at cultivation sturgeon's fry in recircular system. Efficiency application of the salt environment, as way of the solution of problems of a pasturable and market aquaculture is analyzed. Piscicultural, physiological and biochemical parameters are estimated for the Russian sturgeon fry in saltwater and freshwater.

**Key words:** Aquaculture, Russian sturgeon, recircular system, piscicultural figures, physiology, salinity.