

Научная статья

УДК 639.3.06

<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-4-48-53>

EDN TQPUZU

Использование воды с электрохимически регулируемым окислительно-восстановительным потенциалом при содержании осетровых рыб в установках замкнутого водоснабжения

Алексей Михайлович Мазлов

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, mazalex87@mail.ru*

*Астраханский государственный медицинский университет,
Астрахань, Россия*

Аннотация. Активный интерес современных исследователей к изучению структуры воды, ее уникальных биологических и физических свойств обусловлен особенностями структурированной воды: в ней отсутствуют примеси, она сходна по своим свойствам с биологическими жидкостями, входящими в состав клеток животных и растительных организмов. Молекулы структурированной воды не разбросаны хаотично, а сцеплены друг с другом в единую структуру. Отрицательно заряженная структурированная вода оказывает биостимулирующее действие на рыб, что проявляется в повышении выживаемости, оплодотворяемости икры, ускорении темпа роста молоди, снижении нагрузки патогенной микрофлоры на организм гидробионтов. Выращивание осетровых проводили при оптимальной для их роста температуре воды – 22 °С, содержание кислорода не превышало 8,0 мг/л. Особое внимание уделяли рН в связи с его сдвигом в сторону щелочной реакции среды в воде с отрицательными (восстановительными) значениями окислительно-восстановительного потенциала (ОВП). При проведении экспериментов на осетровых было установлено положительное воздействие воды с отрицательным ОВП на организм гибридов *русский осетр* × *ленский осетр* (РО × ЛО), что проявилось в повышении рыбоводно-биологических показателей выращивания. Величина абсолютного прироста у особей, содержащихся в воде с регулируемым ОВП, была выше на 26 % в сравнении с контролем. Показатель среднесуточной скорости роста был также выше у особей опытной группы, он составил 0,72 %. Отмечено, что при содержании рыб в воде с электрохимически регулируемым ОВП наблюдалось улучшение гематологических показателей (гемоглобин – 73,3 г/л, общий белок – 22,7 г/л), а также снижение скорости оседания эритроцитов до 2,5 мм/ч, что свидетельствует о благоприятном влиянии структурированной воды на физиологическое состояние объектов аквакультуры.

Ключевые слова: осетровые, гибрид, факторы стресса, установка электрохимической активации воды, окислительно-восстановительный потенциал, прирост, физиология

Для цитирования: Мазлов А. М. Использование воды с электрохимически регулируемым окислительно-восстановительным потенциалом при содержании осетровых рыб в установках замкнутого водоснабжения // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2023. № 4. С. 48–53. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-4-48-53>. EDN TQPUZU.

Original article

The use of water with an electrochemically regulated redox potential in the maintenance of sturgeon fish in closed water supply installations

Alexei M. Mazlov

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, mazalex87@mail.ru*

*Astrakhan State Medical University,
Astrakhan, Russia*

Abstract. The active interest of modern researchers in studying the structure of water, its unique biological and physical properties is due to the peculiarities of structured water: it does not contain impurities, and its properties are similar to biological fluids that are part of animal and plant cells. The molecules of structured water are not scattered randomly, but are connected to each other in a single structure. Negatively charged structured water has a biostimulating effect on fish, which manifests itself in increasing survival, fertilization of eggs, accelerating the growth rate of juveniles, reducing the load of pathogenic microflora on the body of aquatic organisms. The cultivation of sturgeons was carried out at the optimal water temperature for their growth – 22 °C, the oxygen content did not exceed 8.0 mg/l. Special attention was paid to pH due to its shift towards the alkaline reaction of the medium in water with negative (lowering) values of the redox potential (RP). During experiments on sturgeons, the positive effect of water with negative RP on the body of *Russian sturgeon* × *Lena sturgeon* (RS × LS) hybrids was established, which manifested itself in an increase in fish-breeding and biological indicators of cultivation. The absolute increase in individuals kept in water with controlled RP was 26% higher compared to the control. The average daily growth rate was also higher in individuals of the experimental group, it was 0.72%. It was noted that when fish were kept in water with electrochemically regulated RP, an improvement in hematological parameters was observed (hemoglobin – 73.3 g/l, total protein – 22.7 g/l), as well as a decrease in the rate of erythrocyte sedimentation to 2.5 mm/h, which indicates a favorable effect of structured water on the physiological state of aquaculture facilities.

Keywords: sturgeon, hybrid, stress factors, installation of electrochemical activation of water, redox potential, growth, physiology

For citation: Mazlov A. M. The use of water with an electrochemically regulated redox potential in the maintenance of sturgeon fish in closed water supply installations. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry.* 2023;4:48-53. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-4-48-53>. EDN TQPUZU.

Введение

Осетровые рыбы исторически являются национальным достоянием Волго-Каспийского региона. Однако прогрессирующая деградация экосистемы северной части Каспийского моря в связи с увеличением масштабов разработки и эксплуатации нефтяных месторождений каспийского шельфа, а также браконьерский лов привели к снижению численности осетровых до критического уровня [1]. В связи с этим все большую и особую актуальность приобретают исследования, направленные на сохранение этих видов. Большинство видов осетровых рыб занесено в Красную книгу, находится под охраной государства, их вылов в природных источниках запрещен. Однако спрос на мясо и икру осетровых рыб стабильно высокий. Разводить в обычных водоемах ценный вид не получится, т. к. размножается он только в чистой проточной воде, обогащенной кислородом, при соответствующей температуре воды и воздуха. Современная технология выращивания осетровых рыб в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) решает эту проблему, однако для увеличения объемов товарной рыбной продукции часто прибегают к повышению плотности посадки рыб. Такой технологический прием способствует снижению эффективности работы биологического фильтра и повышению загрязненности воды в рыбоводных емкостях. В связи с этим рыбы, выращиваемые в таких условиях, подвержены постоянному действию стресса, который проявляется, в первую очередь, в нарушении антиоксидантной защиты. Окислительный стресс в организме рыб может вызывать перекисное окисление липидов, способствующее повреждению клеточных мембран, и, в итоге, гибель клеток – апоптоз. Для решения проблем, связанных с воздействием факторов стресса и повышения антиоксидантной защиты организма рыб, используются

различные методы. Наиболее распространенным является применение различных синтетических и природных антиоксидантов в составе кормов, что предполагает повышение активности противокислительной системы защиты организма рыб. Другим, менее распространенным, но перспективным способом защиты организма рыб от воздействия факторов стресса является регулирование редок-потенциала в рыбоводных емкостях до показателей, соответствующих внутренней среде организма, что позволит решить проблему сохранения энергетических затрат [2]. Многочисленные исследования в биологии и медицине позволяют утверждать, что редок-потенциал внутренней среды организма человека и животных в норме имеет отрицательные значения, которые находятся в пределах от –100 до –200 мВ [3, 4]. Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) питьевой воды и воды из естественных источников имеет положительные значения – от 100 до 400 мВ. Исследования Б. И. Леонова с соавторами [5] показывают положительное влияние водных растворов с отрицательным редок-потенциалом на организм. Авторы утверждают, что если вода имеет ОВП более отрицательный, чем ОВП организма, то она подпитывает организм этой энергией. В связи с этим вызывают интерес исследования, направленные на изучение возможности применения воды с электрохимически регулируемым ОВП при выращивании осетровых рыб в рециркуляционных системах.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в экспериментальной УЗВ кафедры «Аквакультура и водные биоресурсы» Астраханского государственного технического университета. Объектами исследований по-

служили взрослые особи двухлеток гибрида *русский осетр* × *ленский осетр* (РО × ЛО).

Выращивание проводили в стандартных рыбководных бассейнах размером 1 × 1 м. Объекты выращивания были разделены на опытную и контрольную группы. Все особи гибрида были индивидуально помечены. В бассейнах, где содержались особи опытной группы, вода подвергалась регулированию ОВП с помощью системы активации воды (разработка ООО «Аквалид»). Для рыб контрольной группы режим содержания был стандартным. Выращивание длилось в течение 60 суток. Для контроля за ростом рыб проводили регулярные взвешивания и измерения длины тела с использованием электронных весов и мерных досок.

Выращивание проводилось с применением общепринятых биотехнических нормативов для осетровых рыб в УЗВ. Контроль термического, газового режимов, активной реакции среды и водообмена был регулярным. Для анализа показателей применяли термооксиметр, рН-метр. Окислительно-восстановительный потенциал воды в бассейне измеряли при помощи ОВП-метра Milwaukee MW500 PRO.

Для оценки физиологического состояния гибрида осетровых рыб были исследованы основные гематологические показатели. Отбор проб крови осуществлялся прижизненно из каудального канала с применением одноразовых шприцев. Количественное содержание гемоглобина измеряли стандартным унифицированным методом, основанным на образовании гемиглобинцианида, белка в плазме крови – биуретовым методом, холестерина

в сыворотке крови – колориметрическим методом, β-липопротеидов – турбидиметрическим методом по Бурштейну. Определение СОЭ проводили при помощи прибора Т. П. Панченкова.

Количественные показатели подвергали статистической обработке математическими методами, применяемыми традиционно в биологических науках.

Результаты исследований

Выращивание осетровых проводили при оптимальной для их роста температуре воды – 22 °С, содержание кислорода не превышало 8,0 мг/л. Особое внимание уделяли рН в связи с его сдвигом в сторону щелочной реакции среды в воде с отрицательными (восстановительными) значениями ОВП. Такие растворы характеризуются электронодонорными свойствами и способствуют замедлению или предотвращению свободнорадикального окисления и, соответственно, препятствуют разрушению мембран клеток, стимулируя их восстановление. Учитывая данные ранее проведенных исследований ОВП внутренней среды организма рыб, нами выбран наиболее приближенный к этим значениям редокс-потенциал воды, в которой проводили выращивание гибрида РО × ЛО. Проведенные исследования показали высокую эффективность применения установки электрохимической активации воды в аквакультурной системе замкнутого водообеспечения.

За период проведенных исследований рыбы опытной группы имели наиболее высокие рыбоводно-биологические показатели (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Рыбоводно-биологические показатели гибрида РО × ЛО при выращивании в воде с отрицательным окислительно-восстановительным потенциалом (n = 10)

Fish-breeding and biological indicators of RS × LS hybrid when grown in water with a negative redox potential (n = 10)

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа
Масса начальная, г	155,2 ± 7,63	164,5 ± 8,12
Масса конечная, г	229,0 ± 10,38	289,0 ± 7,81**
Абсолютный прирост, г	73,8 ± 9,18	124,5 ± 7,47**
Среднесуточная скорость роста, %	1,2 ± 0,15	2,08 ± 0,12**
Коэффициент массонакопления, %	0,03 ± 0,003	0,052 ± 0,004*
Длительность выращивания, сут	60	

* $P \leq 0,01$; ** $p \leq 0,001$.

Величина абсолютного прироста у особей, содержащихся в воде с регулируемым ОВП, была выше на 26 % в сравнении с контролем. Показатель среднесуточной скорости роста был также выше у РО × ЛО опытной группы и составил 0,72 %. Коэффициент массонакопления, характеризующий интенсивность роста, у рыб опытной группы составил 0,052 %, что в 1,7 раза выше, чем в контроле.

Таким образом, по данным рыбоводно-биологических показателей можно судить о положительном действии воды с электрически регулируемым ОВП на двухгодовиков стерляди, выраженном в более высоких показателях прироста.

Для оценки физиологического состояния рыб был выполнен анализ гематологических показателей рыб (табл. 2).

Гематологические показатели гибридов РО × ЛЮ, выращиваемых в воде с регулируемым отрицательным окислительно-восстановительным потенциалом

Hematological parameters of RS × LS hybrids grown in water with a regulated negative redox potential

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа
Гемоглобин, г/л	53,1 ± 2,02	73,3 ± 2,2
Общий белок, г/л	21,2 ± 1,8	22,7 ± 1,5
Холестерин, ммоль/л	1,9 ± 0,2	2,5 ± 0,3
β-липопротеиды, г/л	3,2 ± 0,15	3,5 ± 0,3
Глюкоза, ммоль/л	2,3 ± 0,22	2,2 ± 0,16
СОЭ, мм/ч	2,0 ± 0,5	2,5 ± 0,1

Изменение гематологической картины в ту или иную сторону позволяет сделать вывод о состоянии организма и диагностировать заболевания.

Результаты проведенных исследований показали, что концентрация гемоглобина в крови опытных рыб была значительно выше, чем в контрольной группе, и составила 73,3 г/л. В контрольном варианте данный показатель не превышал 53,1 г/л, что также соответствует биологической норме данного вида. Необходимо отметить, что уровень гемоглобина в крови рыб является индикатором реализации дыхательной функции, и его снижение может свидетельствовать о функциональной напряженности в системе обеспечения организма кислородом [4].

Общий белок и β-липопротеиды выполняют в организме животных разнообразные функции и служат основным источником энергии [5, 6]. Направленность жирового обмена у рыб способствовала нормальному процессу накопления энергетических ресурсов, о чем свидетельствуют энергетические показатели, не превышающие нормативных значений. Содержание общего белка, β-липопротеидов оказалось выше в опыте, чем у рыб в контрольном варианте.

Динамика содержания холестерина в сыворотке крови у осетровых рыб в определенной степени сопоставима как с динамикой сывороточного белка, так и с динамикой бета-липопротеидов [7–9]. Следует отметить, что уровень холестерина у рыб опытной группы был незначительно выше контрольной и составил 3,5 ммоль/л, что может свидетельствовать о наличии незначительной стрессовой ситуации, обусловленной содержанием рыбы в воде с отрицательным ОВП. Если рассматривать холестерин как биохимический компонент, способствующий преодолению опытными рыбами стрессовых нагрузок, повышенный его уровень (на 30–40 %) вполне закономерен [2].

Скорость оседания эритроцитов (СОЭ) – неспецифический лабораторный показатель крови, отражающий соотношение фракций белков плазмы [11]. Изменение СОЭ может служить косвен-

ным признаком текущего воспалительного или иного патологического процесса. Величина данного показателя в контроле была несколько ниже в сравнении с опытом, однако полученные результаты находились в пределах референтных значений.

Таким образом, применение воды с электрохимически регулируемым ОВП оказало положительное влияние на физиолого-биохимические показатели крови двухгодовиков стерляди, выраженное в повышении уровня гемоглобина, общего белка, а также в стабилизации СОЭ. Содержание рыб в такой среде эффективно и способствует получению более высоких показателей крови.

Обсуждение результатов

Одним из перспективных направлений улучшения качества воды является ее структурирование. Вода, имеющая отрицательный ОВП, легко усваивается организмом и восполняет клеткам потерянные отрицательные заряды и энергию. Такая вода имеет ОВП, приближенный к ОВП внутренней среды организма, и обладает антиоксидантными свойствами.

В результате проведенных исследований установлено, что содержание рыб в воде с электрически регулируемым ОВП оказывает положительное влияние на их рыбоводно-биологические показатели. У двухлеток РО × ЛЮ из опытной группы наблюдается увеличение абсолютного прироста до 124,5 г, в то время как в контроле данный показатель не превышал 73,8 г. Максимальное значение среднесуточной скорости роста также было характерно для рыб, выращиваемых в воде с отрицательным ОВП. Установлено, что структурированная вода оказывает положительное влияние на физиолого-биохимические показатели рыб. Так, у двухгодовиков гибрида из опытной группы отмечается повышение концентрации гемоглобина до 73,3 г/л, что на 20,2 г/л выше, чем в контрольной группе. Концентрация общего белка была также выше у рыб из опытной группы и составила 22,7 г/л. Величина СОЭ в обеих группах находилась в пределах рефе-

рентных значений, что свидетельствует об отсутствии воспалительных процессов в организме выращиваемых рыб.

Заключение

В данной статье научно обоснована эффективность использования воды с электрохимически регулируемым окислительно-восстановительным потенциалом при содержании осетровых рыб в установках замкнутого водоснабжения. Положительный эффект заключается в повышении рыбопродуктивных показателей рыб, о чем свидетель-

ствует увеличение абсолютного и среднесуточного приростов, среднесуточной скорости роста, коэффициента массонакопления. При анализе физиологического состояния рыб установлено, что для гибридов РО × ЛО, содержащихся в воде с отрицательным ОВП, характерно повышение концентрации гемоглобина до 73,3 мг/л, общего белка до 22,7 г/л. Полученные гематологические показатели находились в пределах референтных значений, что свидетельствует о благоприятных условиях содержания исследуемых рыб.

Список источников

1. Ходоревская Р. П., Красиков Е. В., Довгопол Г. Ф., Журавлева О. Л. Формирование запасов каспийских осетровых рыб в современных условиях // Вопр. ихтиологии. 2000. Т. 40, № 5. С. 632–639.
2. Seyed Hossein Hoseinifar, Samira Yousefia, Hien Van Doanb, Ghasem Ashouri, Giorgia Gioacchini, Oliana Carnevali, Francesca Maradonna. Oxidative stress and antioxidant defense in fish: The implications of probiotic, prebiotic, and synbiotics // *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*. 2021. V. 29 (2). P. 198–217. DOI: 10.1080/23308249.2020.1795616.
3. Бахарева А. А., Грозеску Ю. Н., Жандалгарова А. Д., Славин Л. М., Неваленный А. Н. Оценка эффективности выращивания рыб в воде с отрицательным окислительно-восстановительным потенциалом // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2020. № 3. С. 103–110.
4. Резников К. М., Колесниченко П. Д., Коваленко И. В. Биологические и фармакологические эффекты ионизированных жидкостей с различным окислительно-восстановительным потенциалом // Евраз. союз ученых. 2016. № 30-1. С. 62–68.
5. Леонов Б. И., Бахир В. М., Вторенко В. И. Электрохимическая активация в практической медицине //

- Электрохимическая активация: II Междунар. симп.: тез. докл. и краткие сообщ. (Москва, 1999). М., 1999. Сб. № 21 (2). Ч. 1. С. 15–23.
6. Гераскин П. П., Металлов Г. Ф., Аксенов В. П. Физиолого-биохимическая характеристика самок севрюги, используемых для искусственного воспроизводства // Осетровое хозяйство водоемов СССР: крат. тез. науч. докл. к предстоящему Всесоюз. совещ. (11–14 декабря 1984 г.) / отв. ред. Н. Е. Песериди. Астрахань: ЦНИИ осетрового хоз-ва, 1984. С. 181–182.
7. Карзинкин Г. С. Некоторые итоги и перспективы физиологических исследований в области рыбного хозяйства // Вопр. физиологии рыб. 1961. Т. 44. С. 25–38.
8. Коккоза А. А. Искусственное воспроизводство осетровых рыб. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2007. 207 с.
9. Akhmedzhanova A. A., Evgrafova E. M., Fedorovyykh Yu. V., Lagutkina L. Yu., Ponomarev S. V., Levina O. A. Bioindicators of homeostasis' constants of growing conditions of warmwater aquaculture objects in the context of obtaining marketable products // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. N. 937. P. 032032. DOI: 10.1088/1755-1315/937/3/032032.

References

1. Khodorevskaia R. P., Krasikov E. V., Dovgopol G. F., Zhuravleva O. L. Formirovanie zapasov kaspiiskikh osetrovyykh ryb v sovremennykh usloviyakh [Formation of stocks of Caspian sturgeon fish in modern conditions]. *Voprosy ikhtiologii*, 2000, vol. 40, no. 5, pp. 632-639.
2. Seyed Hossein Hoseinifar, Samira Yousefia, Hien Van Doanb, Ghasem Ashouri, Giorgia Gioacchini, Oliana Carnevali, Francesca Maradonna. Oxidative stress and antioxidant defense in fish: The implications of probiotic, prebiotic, and synbiotics. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 2021, vol. 29 (2), pp. 198-217. DOI: 10.1080/23308249.2020.1795616.
3. Bakhareva A. A., Grozesku Iu. N., Zhandalgarova A. D., Slavin L. M., Nevalenyyi A. N. Otsenka effektivnosti vyrashchivaniia ryb v vode s otritsatel'nyim okislitel'no-vosstanovitel'nyim potentsialom [Evaluation of the effectiveness of fish farming in water with negative redox potential]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2020, no. 3, pp. 103-110.
4. Reznikov K. M., Kolesnichenko P. D., Kovalenko I. V. Biologicheskie i farmakologicheskie efekty ionizirovannykh zhidkostey s razlichnym okislitel'no-vosstanovitel'nyim potentsialom [Biological and pharmacological effects of ionized liquids with different redox potential]. *Evraziiskii soiuz*

- uchenykh*, 2016, no. 30-1, pp. 62-68.
5. Leonov B. I., Bakhir V. M., Vtorenko V. I. Elektrokhimicheskaya aktivatsiya v prakticheskoi meditsine [Electrochemical activation in practical medicine]. *Elektrokhimicheskaya aktivatsiya: II Mezhdunarodnyi simpozium: tezis dokladov i kratkie soobshcheniia (Moskva, 1999)*. Moscow, 1999. Iss. 21 (2). Part 1. Pp. 15-23.
6. Geraskin P. P., Metallov G. F., Aksenov V. P. Fiziologo-biokhimicheskaya kharakteristika samok sevryugi, ispol'zue-mykh dlia iskusstvennogo vosproizvodstva [Physiological and biochemical characteristics of sevruga females used for artificial reproduction]. *Osetrovoe khoziaistvo vodoemov SSSR: kratkie tezis nauchnykh dokladov k predstoiashchemu Vsesoiuznomu soveshchaniyu (11-14 dekabria 1984 g.)*. Astrakhan', TsNII osetrovogo khoz-va, 1984. Pp. 181-182.
7. Karzinkin G. S. Nekotorye itogi i perspektivy fiziologicheskikh issledovaniy v oblasti rybnogo khoziaistva [Some results and prospects of physiological research in the field of fisheries]. *Voprosy fiziologii ryb*, 1961, vol. 44, pp. 25-38.
8. Kokkoza A. A. *Iskusstvennoe vosproizvodstvo osetrovyykh ryb* [Artificial reproduction of sturgeon fish]. Astrakhan', Izd-vo AGTU, 2007. 207 p.

9. Akhmedzhanova A. A., Evgrafova E. M., Fedorovykh Yu. V., Lagutkina L. Yu., Ponomarev S. V., Levina O. A. Bioindicators of homeostasis' constants of growing conditions of warmwater aquaculture objects in the context of obtaining

marketable products. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2021, no. 937, pp. 032032. DOI: 10.1088/1755-1315/937/3/032032.

Статья поступила в редакцию 05.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 11.12.2023
The article was submitted 05.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 11.12.2023

Информация об авторе / Information about the author

Алексей Михайлович Мазлов – аспирант кафедры аквакультуры и рыболовства; Астраханский государственный технический университет; старший преподаватель кафедры биологии и ботаники; Астраханский государственный медицинский университет; mazalex87@mail.ru

Alexei M. Mazlov – Postgraduate Student of the Department of Aquaculture and Fisheries; Astrakhan State Technical University; Senior Lecturer of the Department of Biology and Botany; Astrakhan State Medical University; mazalex87@mail.ru

