

*Водные биоресурсы и среда обитания*  
 2021, том 4, номер 2, с. 31–39  
<http://journal.azniirkh.ru>, [www.azniirkh.ru](http://www.azniirkh.ru)  
 doi: 10.47921/2619-1024\_2021\_4\_2\_31  
 ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online



*Aquatic Bioresources & Environment*  
 2021, vol. 4, no. 2, pp. 31–39  
<http://journal.azniirkh.ru>, [www.azniirkh.ru](http://www.azniirkh.ru)  
 doi:10.47921/2619-1024\_2021\_4\_2\_31  
 ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online

## Аквакультура и технологии воспроизводства

УДК 574.2

### АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ В КЛАССИФИКАЦИИ ВОД ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ ДЛЯ ЗАДАЧ АКВАКУЛЬТУРЫ

© 2021 М. Л. Калайда, М. Э. Гордеева

*Казанский государственный энергетический университет, Казань 420066, Россия*  
*E-mail: Maria.Galeeva@gmail.com*

**Аннотация.** В работе предлагается классификация вод в зависимости от технологии водоснабжения объектов энергетики по температурному фактору и принципиальной возможности их использования для задач аквакультуры. В основе классификации вод лежат физико-химические показатели воды: температура, рН, концентрация растворенного кислорода, окислительно-восстановительный потенциал и суммарная антиоксидантная активность. Сбор фактических характеристик абиотических факторов среды проводили в естественных водоемах, включая водоемы-охладители объектов энергетики Республики Татарстан, с 2010 г. по настоящее время. По температурному фактору выделено три класса вод: 1) с характерными физико-химическими характеристиками, соответствующими зональному географическому положению водоема; 2) воды водоемов-охладителей объектов энергетики с наличием зон повышенных температур; 3) воды охлаждающих прудов. Проведенное исследование вод выявило, что воды характеризуются сложной структурой с разными наборами физико-химических характеристик. Показано, что для трех выделенных классов вод характерны определенные наборы значений индекса структуры воды (5–7; 2,7–3,2; 9–16, соответственно) и окислительно-восстановительного потенциала (в пределах  $2,47 \text{ уе}_{\text{овп}}$ ;  $2 \text{ уе}_{\text{овп}}$ ; в диапазоне 3,43–4,5  $\text{уе}_{\text{овп}}$ , соответственно). Для этих классов наиболее применимы следующие типы использования в аквакультуре: 1) выращивание рыб, характерных для данной рыбной зоны; 2) садковые хозяйства, включая полициклическое производство; 3) выращивание растительноядных рыб в условиях цветения и зарастания.

**Ключевые слова:** водоснабжение, объекты энергетики, температура воды, окислительно-восстановительный потенциал, суммарная антиоксидантная активность, развитие аквакультуры

## ABIOTIC ENVIRONMENTAL FACTORS IN CLASSIFICATION OF THE WATER FROM ENERGY FACILITIES FOR AQUACULTURE PURPOSES

M. L. Kalayda, M. E. Gordeeva

*Kazan State Power Engineering University, Kazan 420066, Russia*

*E-mail: Maria.Galeeva@gmail.com*

**Abstract.** This article proposes a water classification that is based on the means and practices of water supply to energy facilities with regard to the temperature parameter and accounting for the prospective possibility of using such water for the purposes of aquaculture. This water classification relies on physicochemical characteristics of water: temperature, pH, dissolved oxygen concentration, redox potential, and total antioxidant activity. The collection of the data on the actual status of abiotic environmental factors was conducted at natural water bodies, including the ones used for cooling purposes by the energy facilities of the Republic of Tatarstan, from 2010 to the present time. Based on the temperature parameter, three water classes have been distinguished: 1) with the physicochemical characteristics typical for a water body of that geographical location; 2) water of the water bodies used for cooling purposes by energy facilities with the presence of zones of increased temperatures; 3) water of cooling ponds. This investigation has revealed that the waters are characterized by a complex structure involving different sets of physicochemical characteristics. It is shown that three distinguished water classes are characterized by certain sets of values of the Water Structure Index (5–7, 2.7–3.2, and 9–16, respectively) and redox potential (in the range of 2.47 units<sub>Eh</sub>, 2 units<sub>Eh</sub>, and 3.43–4.5 units<sub>Eh</sub>, respectively). For these classes the following types of uses in aquaculture are most applicable: 1) cultivation of fish species native for this fish farming area; 2) cage farms, including the ones with multiple cycles of production; 3) cultivation of phytovorous fish species in the overgrown and blooming environment.

**Keywords:** water supply, energy facilities, water temperature, redox potential, total antioxidant activity, aquaculture development

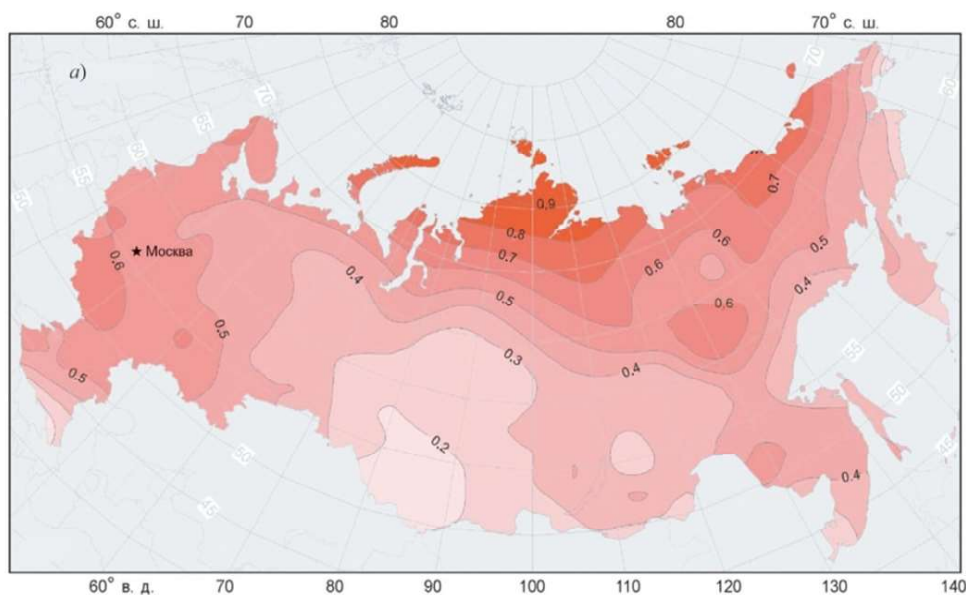
### ВВЕДЕНИЕ

Водные экосистемы — это среда обитания гидробионтов и в то же время это источник воды для людей и промышленности, что делает их объектами многоцелевого использования. Мировой энергетический совет оценил объем водопотребления для производства энергии на уровне 583 млрд м<sup>3</sup>, что составляет около 15 % от общего объема водопотребления в мире [1]. Объем безвозвратно используемой воды составил 66 млрд м<sup>3</sup>. В сценарии развития мировой энергетики Международного энергетического агентства прогнозируется, что в ближайшей перспективе водозабор увеличится еще примерно на 20 %, а объем использования воды (включая повторное) вырастет до 85 %. Увеличение водозабора и использования воды для энергетических целей в зависимости от типа энергетического объекта приводит к изменению основных абиотических показателей (в первую очередь температуры), влияющих на жизнедеятельность гидробионтов и их видовой состав. Необходимо понимание возможностей и способов совмест-

ного использования воды для промышленных и хозяйственных (продовольственных) нужд.

Совместное использование воды для разных нужд становится особенно актуальным в связи с происходящими изменениями климата, что приводит к изменению физико-химических показателей воды, а также к сменам рыбоводных зон. Уже сейчас экономический ущерб от изменения климата оценивается в 1,2 трлн долл. США в год (в ценах 2012 г.), или на уровне 1,6 % мирового ВВП. В России, ввиду ее северного расположения, климат теплеет быстрее, чем в остальном мире [2]. По данным ИГКЭ Росгидромета и РАН, темп прироста среднегодовой температуры на территории России в 2,5 раза превышает среднемировой показатель, а в Северной полярной области — в 4 раза (рис. 1).

В докладе о климатических рисках на территории Российской Федерации (2017 г.) приведены оценки воздействия климатических и метеорологических факторов на жизнь и здоровье населения, состояние инфраструктурных объектов, сельское и лесное хозяйство, из которых следует, что в



**Рис. 1.** Средняя скорость изменения температуры воздуха на территории Российской Федерации с 1976 по 2019 г. ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет) по данным ИГКЭ Росгидромета и РАН

**Fig. 1.** Average rate of change in air temperature in the Russian Federation from 1976 to 2019 ( $^{\circ}\text{C}/10$  years) according to the data of Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring and the Russian Academy of Sciences

Поволжском федеральном округе в большей степени подвержены риску сельское хозяйство (30 %), энергетика и социальная сфера (20 %), а замыкает цепочку рыбное хозяйство, транспорт и добывающая промышленность (10 %).

В связи с этим возникают вопросы возможности использования природных вод, участвующих в функционировании объектов энергетики, для целей аквакультуры, где основным показателем для выращивания гидробионтов является температурный фактор. Кроме того, для успешного воспроизводства и выращивания гидробионтов необходим постоянный мониторинг традиционных абиотических факторов среды — концентрации растворенного кислорода в воде и pH, а также перспективных — суммарной антиоксидантной активности и окислительно-восстановительного потенциала. Проведенные исследования антиоксидантной активности и окислительно-восстановительного потенциала на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» Казанского государственного энергетического университета позволяют считать их комплексными показателями для контроля состояния водной экосистемы, коррелирующими между собой и со значениями pH и, в меньшей степени, с концентрацией растворенного кислорода в воде. Исследования окислительно-восстановительного потенциала позволяют выдвинуть гипотезу о том, что он

является более чувствительным показателем по сравнению с pH, что делает его неотъемлемым компонентом в системе оперативного мониторинга.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сбор данных по абиотическим факторам среды проводился в естественных водоемах, включая водоемы-охладители объектов энергетики Республики Татарстан с 2010 г. по настоящее время.

Концентрация растворенного кислорода и температура воды определялись с помощью оксиметра «Марк 302 Э».

Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) и pH измеряли с помощью иономера И-160 МИ посредством измерительного комбинированного электрода и электрода сравнения.

Суммарную антиоксидантную активность (САОА) определяли кулонометрическим методом с помощью электрогенерированного брома. Пробы анализировали на кулонометре «Эксперт-006» (ООО «Эконикс-Эксперт», Россия) по сертифицированной методике. Электрогенерацию брома осуществляли из 0,2 М раствора калия бромида в 0,1 М водном растворе кислоты серной при постоянной силе тока 100 мА. В электролитическую ячейку вводили 30 мл фонового раствора и, по достижении индикаторным током определен-

ного значения, аликвоту водного экстракта исследуемого образца объемом 100 мкл. Определение проводили при комнатной температуре. Прибор калибровали спиртовым раствором российского стандартного образца (PCO) рутина, приготовленного по действующей Государственной фармакопее XI издания. САОА выражали в мг стандартного образца рутина (Ru) на 1 дм<sup>3</sup> (л) извлечения, или в г Ru на 100 г исследуемого образца.

Статистическая обработка полученных результатов проведена через модальное значение (моду) из 10 определений; относительная ошибка определения САОА исследованных образцов ( $E_{\text{отн.}}$ ) находилась в пределах 3,0–5,0 %.

Статистическая обработка собранных данных проводилась с помощью программы Microsoft Excel и прикладного пакета Statgraphics Plus 5.1.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

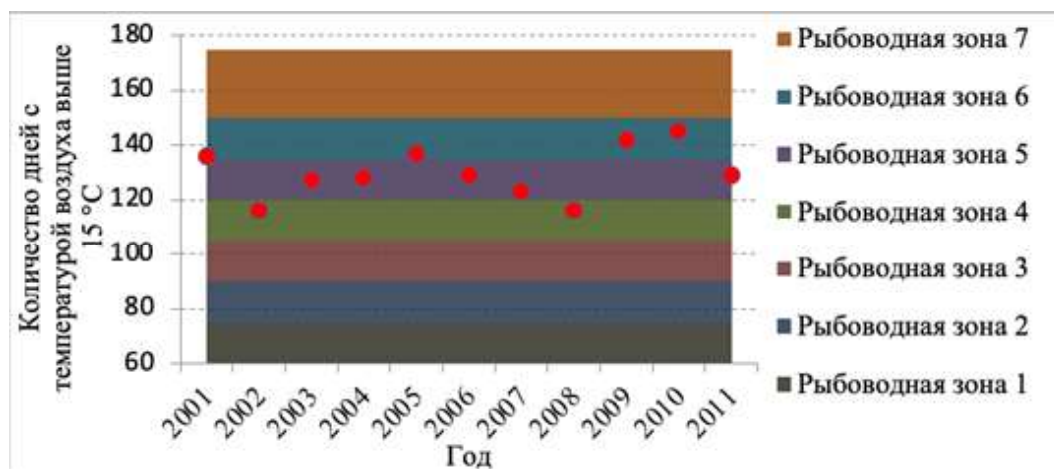
Изменение температурного режима водоемов приводит к изменению объектов выращивания, а следовательно, необходимо понимание, к какой рыболовной зоне относится планируемый для целей аквакультуры водоем, на котором располагается объект энергетики. В связи с потеплением климата во многих регионах России произошли изменения в рыболовных зонах, вследствие чего спектр видов гидробионтов для выращивания и разведения изменился. В конце XX столетия Татарскую АССР относили к рыболовным зонам 2 и 3 с количеством дней в году с температурой воздуха более 15 °С 76–90 и 91–105 дней, соответственно. В настоящее

время, по проведенным расчетам, район вокруг г. Казани в Республике Татарстан может быть отнесен к рыболовной зоне 5 (121–135 дней с температурой воздуха более 15 °С) (рис. 2) [3]. Кроме наблюдающегося изменения температурного режима водоемов возможно дополнительное повышение температуры воды в связи со сбросом подогретых вод теплоэлектроцентралей. Это как приводит к изменениям в составе биоты, так и ставит новые задачи при выборе объектов аквакультуры.

В связи с этим целесообразна разработка классификации вод при их комплексном использовании, включая задачи аквакультуры. В основу данной классификации также предполагается ввести значения суммарной антиоксидантной активности [4] и окислительно-восстановительного потенциала. Проведенные на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» исследования позволили выделить 9 кластеров воды с разными химическими характеристиками:

- Кластер № 1 — 7,5469 мг Ru на 1 дм<sup>3</sup>;
- Кластер № 2 — 6,8212 мг Ru на 1 дм<sup>3</sup>;
- Кластер № 3 — 6,0956 мг Ru на 1 дм<sup>3</sup>;
- Кластер № 4 — 5,3699 мг Ru на 1 дм<sup>3</sup>;
- Кластер № 5 — 4,6443 мг Ru на 1 дм<sup>3</sup>;
- Кластер № 6 — 3,9912 мг Ru на 1 дм<sup>3</sup>;
- Кластер № 7 — 3,2655 мг Ru на 1 дм<sup>3</sup>;
- Кластер № 8 — 2,4673 мг Ru на 1 дм<sup>3</sup>;
- Кластер № 9 — 1,8142 мг Ru на 1 дм<sup>3</sup>.

В связи с тем, что в структуре изученных вод кластеры отмечались с разной частотой встречаемости, предложен индекс структуры воды:



**Рис. 2.** Количество дней в году с температурой воздуха выше 15 °С за последние 11 лет на территории г. Казани [3]

**Fig. 2.** The number of days in a year when the air temperature exceeded 15 °С over the last 11 years in Kazan [3]

$$I_{\text{сз}} = \frac{(\text{Ч}_b \times \text{CAOA}) \times K_T}{K},$$

где  $\text{Ч}_b$  — частота встречаемости кластера воды (в долях); CAOА — значение суммарной антиоксидантной активности (мг Ru на 1 дм<sup>3</sup>);  $K_T$  — коэффициент трофии (0,5 — дистрофные водоемы; 1 — олиготрофные водоемы; 2 — мезотрофные водоемы; 3 — эвтрофные водоемы);  $K$  — количество выделенных кластеров в анализируемом образце (данный показатель выделен как отдельный в связи с необходимостью учета встречаемости разных кластеров CAOА в одном образце воды).

Расчетные значения индекса структуры воды по результатам собственных измерений CAOА различных водных объектов представлены на рис. 3.

Для оценки качества природных вод в период с 2018 по 2020 г. были исследованы по окислительно-восстановительному потенциалу (ОВП) вод более 100 рек Республики Татарстан. Поскольку в литературе имеются различные подходы к оценке качества вод с целью разработки классификации, за «базовую» точку отсчета принята дистиллированная вода, значение ОВП которой принято за 1. Результаты проведенных исследований ОВП представлены в условных единицах ОВП ( $\text{уе}_{\text{овп}}$ ). Выявлено, что диапазон изменения ОВП в реках Республики Татарстан находится в пределах 0,60–4,75  $\text{уе}_{\text{овп}}$ , в реке Кама летом —  $2,47 \pm 0,01 \text{ уе}_{\text{овп}}$  [5] (рис. 4).

Для того чтобы построить классификацию вод с позиции их использования для задач аквакультуры, в соответствии с нормативами для карповых видов рыб были обозначены зоны комфорта и угнетения по показателю рН, пересчитанные на показатели ОВП согласно зависимости ОВП и рН [6]. Показано, что для карповых рыб зона угнетения лежит в диапазонах от 5,03 до 8,06 и от -2,29 до 0,06  $\text{уе}_{\text{овп}}$ ; зона нормального существования — от 0,06 до 5,03  $\text{уе}_{\text{овп}}$ ; зона оптимальных значений — от 1,69 до 4,26  $\text{уе}_{\text{овп}}$ .

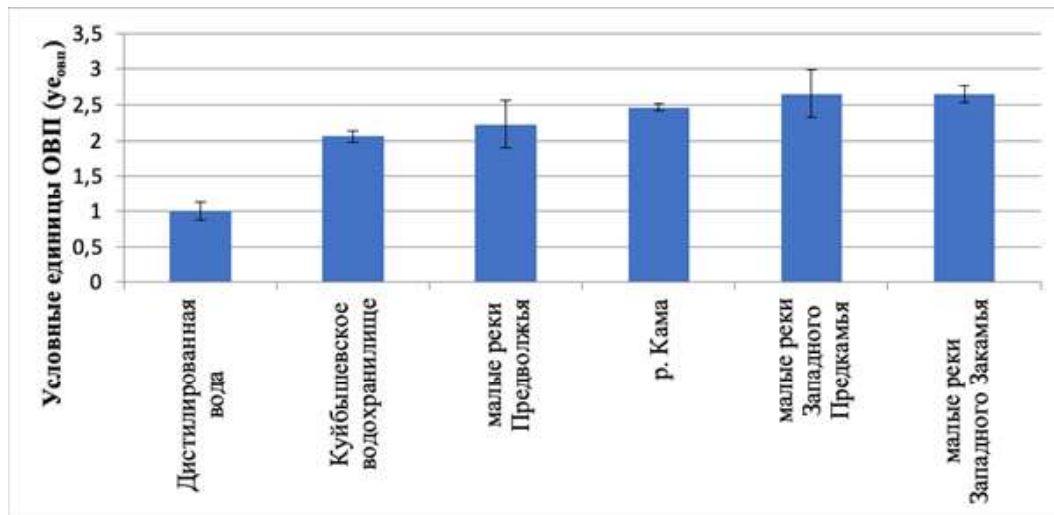
Для классификации вод объектов энергетики для задач аквакультуры примем, что класс 1 — это воды с естественными физико-химическими характеристиками, т. е. температурный режим водоема соответствует географической зоне. Примером объекта энергетики, который может располагаться на водоеме и не изменять в значительной степени физико-химические показатели среды в результате своего функционирования, являются гидроэлектростанции (ГЭС). В этом случае использование в целях аквакультуры этих водных площадей ведется методами пастбищной аквакультуры [7], с выращиванием традиционных для выбранной рыболовной зоны объектов аквакультуры.

Примером вод класса 1 может быть река Кама в Республике Татарстан с расположенной на ней Нижнекамской ГЭС. Термический режим водной массы имеет стабильную годовую цикличность. Средняя температура воды в летний период —



Рис. 3. Классификация вод по индексу структуры воды

Fig. 3. Water classification according to the Water Structure Index



**Рис. 4.** Значения ОВП в условных единицах в крупных реках Республики Татарстан

**Fig. 4.** Redox potential values in conventional units in the major rivers of the Republic of Tatarstan

около 20 °С. В целом данный водоем можно охарактеризовать как мезотрофный с относительно низким уровнем трофии. Значения ОВП реки Кама, с расположенной на ней Нижнекамской ГЭС, в условных единицах лежат в диапазоне оптимальных значений ОВП для карповых видов рыб. Следует отметить, что в других реках Республики Татарстан, на которых не располагаются объекты энергетики, существенных изменений по данному показателю не наблюдается (рис. 4) и значения ОВП также располагаются в зоне значений, оптимальных для карповых видов рыб. Расчет индекса структуры воды в реке Кама показал, что он находится в диапазоне 5–7.

К классу 2 могут быть отнесены воды водоемов-охладителей объектов энергетики, характеризующиеся наличием зоны повышенных температур в результате сброса подогретых вод: государственные районные электростанции (ГРЭС) или теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) с прямоточной системой водоснабжения. Для такого воздействия на природные водоемы характерно исчезновение периода зимней стагнации и удлинение периода термоклина (два месяца — июль и август). Сброс подогретых вод в зимний период не позволяет средней температуре опуститься ниже 4 °С. Именно в зимний период наблюдается максимальная разница значений температур относительно естественного температурного фона (до 11 °С) [3, 8]. Несмотря на меньший межсезонный разброс температур в течение года по сравнению с водоемами без объектов энергетики 2–3 рыбоводных зон и

более благоприятные температуры в зимний период времени, термический режим данных водоемов можно охарактеризовать как нестабильный и зависимый от работы объектов энергетики [9]. Это связано с более значительными суточными колебаниями температуры в связи с работой ТЭЦ и возможными аварийными сбросами, приводящими к ситуациям, критическим по физико-химическим показателям. Значения ОВП находятся в пределах 2 ye<sub>ox</sub> [10], что свидетельствует о благоприятной для гидробионтов среде. Индекс структуры воды для вод данного класса лежит в диапазоне от 2,7 до 3,2. Низкие отмеченные значения индекса могут быть связаны с использованием артезианских или родниковых вод, как это, например, наблюдается на Заинской ГРЭС и Казанской ТЭЦ-1 [3, 11].

Возможной формой рыбоводства в таких условиях является садковое хозяйство с циклическим сезонным использованием вод для разных видов рыб. В этих условиях становится особенно важным подбор выращиваемых объектов. Так, в 2016 г. в результате аномально жаркого лета на Заинском водохранилище гибель карпов в садках составила 100 % (за одну ночь смертность составила 170 т карпа) (рис. 5). Поскольку возможно снижение содержания кислорода в воде до минимальных значений, рекомендуется рассмотреть вариант замены карпа на более выносливые по отношению к содержанию в воде кислорода виды рыб, например, на клариевого сома, имеющего специализированный наджаберный орган для дыхания атмосферным воздухом. Цикл товарного выращи-



**Рис. 5.** Смертность рыбы в садках в ОАО «Зайнский рыбхоз» в 2016 г.

**Fig. 5.** Fish mortality in the cages of fish farm “Zainsky Rybkhoz” JSC in 2016

вания сома может составлять несколько месяцев, а содержание производителей и воспроизводство молоди возможно в условиях установки с замкнутым циклом водоснабжения.

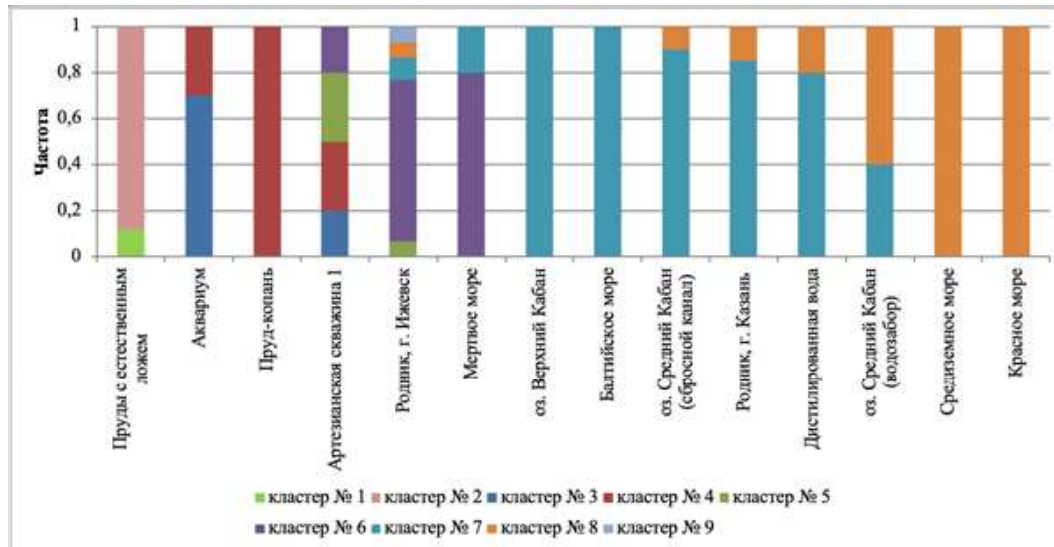
При организации садкового хозяйства необходимо обратить внимание на то, что интенсивное кормление искусственными кормами и высокие температуры будут способствовать эвтрофикации водоема и изменению значений индекса структуры воды в сторону повышения: от 2,7–3,2 до 7–8 при сокращении количества кластеров до 1 (рис. 3, 6). Как видно из данных рис. 6, упрощенной (кластер № 1) кластерной структурой характеризуются воды прудов рыбохозяйственного назначения с родниковым питанием и озер со слабым антропогенным воздействием (оз. Верхний Кабан), в то время как значения САОА максимальны из исследованных.

Если в летний период во 2 классе вод рекомендуется выращивание клариевого сома в садковом хозяйстве, то в зимний период целесообразна организация садкового форелевого хозяйства: концентрация кислорода достигает нормативных значений (до 10 мг/дм<sup>3</sup>) в связи с отсутствием ледового покрова и активной циркуляции воды в процессе прохождения по сбросному каналу, а температура воды является благоприятной.

Класс 3 — это воды охлаждающих прудов. Примером могут служить водоемы, созданные для функционирования ТЭЦ (работающих на обратном типе технического водоснабжения) и атомных

электростанций (АЭС). Такой тип водоснабжения используется при отсутствии природного водоема необходимой емкости. Вода подается насосами на охлаждение механизмов и затем возвращается в искусственный охладитель, в качестве которого могут выступать градирни и охлаждающие пруды. Искусственные бассейны применяются для отвода небольших количеств тепла, примерно до 200000 ккал/ч, что требует акваторию площадью 800–1000 м<sup>2</sup>. Искусственный пруд может быть создан двумя путями. В первом случае конструктивной особенностью пруда является водонепроницаемость стенок и дна, он выполняется в виде круглых или прямоугольных открытых железобетонных резервуаров, расположенных в выемке. В данных условиях реализация задач аквакультуры затруднительна в связи с водонепроницаемостью стенок, из-за которых необходима постоянная циркуляция и пополнение емкостей свежей водой. Для вод таких водоемов характерны величины ОВП ниже 0, в то время как у описанных классов вод 1 и 2 значения ОВП составляли 2–2,47 уе<sub>овп</sub>. Снижение значений окислительно-восстановительного потенциала характеризует эту воду как непригодную для жизнедеятельности гидробионтов по показателю ОВП (зона угнетения и гибели карповых рыб по показателю ОВП).

Во втором случае конструктивной особенностью является перегораживание русла реки плотиной. Такие пруды-водохранилища на реках совмещают функции охладителя и регулятора стока. Их глубина колеблется от 1,5 до 3 м. Они могут



**Рис. 6.** Кластеры воды различных водных объектов, выделенные по величине суммарной антиоксидантной активности

**Fig. 6.** Water clusters (of various water bodies), differentiated on the basis of the total antioxidant activity

быть сопоставимы с прудами руслового типа на малых реках или головными прудами классических прудовых рыбоводных хозяйств. Они также подвержены процессам эвтрофирования как классические пруды и водоемы на малых реках за счет смыва органических веществ. Для этого типа водоемов характерные значения ОВП составляют 3,43–4,5  $ue_{овп}$  при максимальных индексах структуры воды от 9 до 16, а количество кластеров вод минимально (чаще всего 1). Наиболее простым рыбохозяйственным использованием является применение классических методов прудового рыбоводства с использованием поликультуры растительноядных рыб, что будет способствовать увеличению рыбопродуктивности при снижении трофии водоемов. Возможно и эффективное использование этих водоемов в рекреационных целях, включая спортивную рыбалку.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что воды, используемые комплексно как в задачах энергетики, так и в задачах аквакультуры, характеризуются сложной структурой с разными наборами физико-химических характеристик. Выделены три класса вод, для которых свойственны определенные наборы значений индекса структуры воды и окислительно-восстановительного потенциала (класс 1: 5–7 и в пределах 2,47  $ue_{овп}$ ; класс 2: 2,7–3,2 и в пределах 2  $ue_{овп}$ ; класс 3: 9–16 и в диапазоне 3,43–4,5  $ue_{овп}$ , соответственно).

Показано, что воды класса 1 наиболее близки к природным и могут использоваться в целях аквакультуры в соответствии с принятыми в регионе направлениями ее развития (пастбищной или товарной).

Воды класса 2 в связи с изменениями в температурном режиме водоемов и концентрации растворенного кислорода возможно использовать для полициклического аквакультурного производства с двумя оптимумами в зимний и летний периоды для разных видов рыб. Реализация этого подхода на базе индустриального садкового хозяйства может комбинироваться с применением установок с замкнутым циклом водоснабжения.

Воды класса 3 наиболее целесообразно использовать для направлений экстенсивного рыбоводства в рекреационных целях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев Д.А. Водные ресурсы и производство энергии // Энергия: экономика, техника, экология. 2017. № 8. С. 13–21.
2. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации / Под ред. В.М. Катцова. СПб: Изд-во Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, 2017. 106 с.
3. Гордеева М.Э., Калайда М.Л. Комплексная оценка состояния экосистемы озер. Урбанизированные территории. Саарбрюккен: Lambert Academic Publishing, 2015. 237 с.
4. Лапин А.А., Гордеева М.Э., Калайда М.Л. Кластерная характеристика вод по величине их суммарной



- антиоксидантной активности // Бутлеровские сообщения. 2019. Т. 60, № 10. С. 67–73.
5. Gordeeva M.E., Kalayda M.L. Using Redox potential in water quality assessment of energy facilities // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 288. e012039. doi: 10.1088/1755-1315/288/1/012039.
  6. Калайда М.Л., Гордеева М.Э. Окислительно-восстановительный потенциал как перспективный показатель качества среды в промышленном рыбоводстве // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны : матер. III Нац. науч.-практ. конф. (г. Казань, 3–5 октября 2018 г.). Саратов: Изд-во Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова, Амирит, 2018. С. 105–110.
  7. Справочник по озерному и садковому рыбоводству / Под ред. Г.П. Руденко. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 312 с.
  8. Tadesse I., Green F.B., Puhakka J.A. Seasonal and diurnal variations of temperature, pH and dissolved oxygen in advanced integrated wastewater pond system treating tannery effluent // Water Research. 2004. Vol. 38, no. 3. Pp. 645–654. doi: 10.1016/j.watres.2003.10.006.
  9. Eloranta P.V. Physical and chemical properties of pond waters receiving warm-water effluent from a thermal power plant // Water Research. 1983. Vol. 17, no. 2. Pp. 133–140. doi: 10.1016/0043-1354(83)90092-1.
  10. Kalayda M.L., Gordeeva M.E. Features of the physicochemical water state of reservoirs of energy facilities // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 288. e012051. doi: 10.1088/1755-1315/288/1/012051.
  11. Gordeeva M.E., Zanozeev R.V. Modification of the temperature condition of the basin-cooler in the energy object coverage // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 288. e012040. doi: 10.1088/1755-1315/288/1/012040.
  4. Lapin A.A., Gordeeva M.E., Kalayda M.L. Klasternaya kharakteristika vod po velichine ikh summarnoy antioksidantnoy aktivnosti [Cluster characteristics of waters in terms of their total antioxidant activity]. *Butlerovskie soobshcheniya [Butlerov Communications]*, 2019, vol. 60, no. 10, pp. 67–73. (In Russian).
  5. Gordeeva M.E., Kalayda M.L. Using Redox potential in water quality assessment of energy facilities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 288, e012039. doi: 10.1088/1755-1315/288/1/012039.
  6. Kalayda M.L., Gordeeva M.E. Okislitel'no-vosstanovitel'nyy potentsial kak perspektivnyy pokazatel' kachestva sredy v industrial'nom rybovodstve [Redox potential as a promising indicator of environmental quality in industrial fish farming]. In: *Sostoyaniye i puti razvitiya akvakul'tury v Rossiyskoy Federatsii v svete importozameshcheniya i obespecheniya prodovol'stvennoy bezopasnosti strany : materialy III Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Kazan', 3–5 oktyabrya 2018 g.) [Status and possible directions of aquaculture in the Russian Federation in the context of import substitution and provision of food security. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> National Research and Practice Conference (Kazan, 3–5 October, 2018)]*. Saratov: Saratovskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni N.I. Vavilova [Saratov State Vavilov Agrarian University] Publ., Amirit, 2018, pp. 105–110. (In Russian).
  7. Spravochnik po ozeromu i sadkovomu rybovodstvu [Handbook on lake and cage fish farming]. G.P. Rudenko. (Ed.). Moscow: Legkaya i pishchevaya promyshlennost' [Consumer Goods and Food Industry], 1983, 312 p. (In Russian).
  8. Tadesse I., Green F.B., Puhakka J.A. Seasonal and diurnal variations of temperature, pH and dissolved oxygen in advanced integrated wastewater pond system treating tannery effluent. *Water Research*, 2004, vol. 38, no. 3, pp. 645–654. doi: 10.1016/j.watres.2003.10.006.
  9. Eloranta P.V. Physical and chemical properties of pond waters receiving warm-water effluent from a thermal power plant. *Water Research*, 1983, vol. 17, no. 2, pp. 133–140. doi: 10.1016/0043-1354(83)90092-1.
  10. Kalayda M.L., Gordeeva M.E. Features of the physicochemical water state of reservoirs of energy facilities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 288, e012051. doi: 10.1088/1755-1315/288/1/012051.
  11. Gordeeva M.E., Zanozeev R.V. Modification of the temperature condition of the basin-cooler in the energy object coverage. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 288, e012040. doi: 10.1088/1755-1315/288/1/012040.

## REFERENCES

1. Solovyev D.A. Vodnye resursy i proizvodstvo energii. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya [Energy: Economics, Technology, Ecology]*, 2017, no. 8, pp. 13–21. (In Russian).
2. Doklad o klimaticheskikh riskakh na territorii Rossiyskoy Federatsii [Report on the climate-related risks within the Russian Federation]. V.M. Kattsov. (Ed.). Saint-Petersburg: Glavnaya geofizicheskaya observatoriya im. A.I. Voeikova [Voeikov Main Geophysical Observatory] Publ., 2017, 106 p. (In Russian).
3. Gordeeva M.E., Kalayda M.L. Kompleksnaya otsenka sostoyaniya ekosistemy ozer. Urbanizirovannye territorii [Comprehensive assessment of the state of a lake ecosystem. Urbanized areas]. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2015, 237 p. (In Russian).

Поступила 14.04.2021

Принята к печати 16.06.2021