

бомезотрофный (при олиготрофном характере гипolimниона), северной – как олиготрофный, западной – как мезотрофный, южной части (Свирская и Волховская губы) – как слабоэвтрофный.

Воды Ладожского озера могут быть охарактеризованы как «чистые» и «очень чистые» за исключением отдельных акваторий в районе «горячих точек», где загрязнение и эвтрофирование могут вызывать определенные локальные нарушения состояния озерной среды.

В настоящее время вектор развития экосистемы озера и его притоков определяется, в основном, естественными факторами природной среды в конкретных климатических условиях.

Transformation of Lake Ladoga ecosystem in the late XX – early XXI centuries and its current state. E.A. Kurashov, M.A. Barbashova, D.S. Dudakova, L.L. Kapustina, A.G. Rusanov, E.V. Protopopova, N.V. Rodionova, M.S. Saladina, D.G. Aleshina. Regular surveys of all major biological communities (phytoplankton, macrophytes, periphyton, bacterial plankton, zooplankton, macro - and meiobenthos) in the largest European Lake Ladoga revealed the main trends in its ecosystem transformation in the last third of the 20th and early 21st centuries. By and large, the current state of the lake may be characterized as favourable.

ОТКЛИК ЭКОСИСТЕМ ВОДОХРАНИЛИЩ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ НА ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА: ИЗМЕНЕНИЕ КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ГИДРОБИОНТОВ

В.И. Лазарева, Е.Г. Пряничникова, А.И. Цветков

*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок,
Россия, lazareva_v57@mail.ru*

С 1960-х годов в северном полушарии отмечают повышение температуры воздуха и воды водоемов. В европейской России последние 30 лет темп увеличения температуры (Т) воздуха за каждое десятилетие составляет 0,49–0,53 °С, воды в Рыбинском водохранилище – 0,89 °С (Литвинов, Законнова, 2011). При потеплении климата в водных экосистемах наблюдают трансформацию циклов биогенных элементов, увеличение растворенного органического вещества, снижение прозрачности и содержания кислорода (O₂) в гипolimнионе. Дефицит растворенного кислорода – важный фактор, влияющий на состав и структуру водных сообществ, в первую очередь донных. Как следствие потепления летний дефицит O₂ периодически (чаще ночью) в Западной Европе регистрируют даже в мелководных озерах (Wilhelm, Adrian, 2008).

С 1954 г. на умеренно эвтрофном Рыбинском водохранилище ИБВВ РАН проводит регулярные (каждые 2 недели) наблюдения за состоянием сообществ и гидрофизическим режимом. До 2010 г. недостаток растворенного O_2 летом обнаруживали крайне редко. Так, в августе 2007 г. в период развития цианобактерий содержание O_2 в придонном слое воды снижалось до 4.5 мг/л только в <10 % проб. Впервые тотальное ухудшение летнего кислородного режима зарегистрировано в аномально жаркое лето 2010 г., когда T воды у дна достигала 25°C. Летом 2011–2015 гг. обнаруживали снижение O_2 <4 мг/л (<50 % насыщения) в слое 1–2 м над дном при обычном прогреве придонных вод (18–19°C) на более 50 % точек отбора проб, только на 40 % станций его содержание было >5 мг/л (ПДК_{рыбхоз} 6 мг/л). Наиболее мощный слой (1–7 м над дном) с O_2 1–4 мг/л почти ежегодно регистрировали в озеровидной части водохранилища в июле–августе пятнами вдоль затопленного русла рек Волги, Мологи и Шексны. В большинстве случаев дефицит наблюдали в течение ~2 нед, на отдельных участках 1–3 мес. В последующие пять лет процесс развивался по пути увеличения слоя воды с недостатком O_2 .

В августе 2012–2015 гг. на глубоководных участках вдоль русла Волги в Угличском и Ивановском водохранилищах ежегодно наблюдали дефицит O_2 . В средней части мезотрофного Угличского водохранилища низкое содержание O_2 (<4 мг/л, <40 % насыщения) отмечали ниже крупных населенных пунктов и в устьевом створе крупных притоков в слое 1–3 м над дном. В эвтрофном Ивановском водохранилище по руслу Волги на протяжении более 50 км регистрировали сильный дефицит O_2 (<3 мг/л и <20 % насыщения) в слое 1–7 м над дном, в придонном горизонте наблюдали полную аноксию. В этом водоеме еще в 1990-х годах зона аноксии летом занимала до 35 % объема водной массы (Кременецкая, 2007). По данным съемки в августе 2015 г. ниже плотины Рыбинской ГЭС в Горьковском, Чебоксарском, Куйбышевском и Саратовском водохранилищах заметного снижения O_2 в придонном горизонте вод не выявлено.

От дефицита растворенного O_2 сильнее всего страдали бентосные организмы (моллюски и ракообразные). Так, летом 2010 г. в водохранилищах донные ветвистоусые рачки встречались в 2–5 раз реже, чем в предыдущие годы. Не были найдены крупные *Sida crystallina* (Müller), ранее их отмечали в 10–50 % проб. Выявлено резкое снижение интенсивности размножения дрейссенид, численность велигеров уменьшилась в 3–10 раз. В последующие годы снизилась биомасса взрослых моллюсков: в августе 2013 г. живые моллюски обнаружены лишь в 17–20 % обследованных станций глубоководной части водохранилищ.

Во всех трех водохранилищах зарегистрировано снижение среднего количества зоопланктона в 1 м^3 и под 1 м^2 на участках с заметным ($\text{O}_2 < 4 \text{ мг/л}$) дефицитом кислорода у дна, что вызвано уменьшением слоя воды, пригодного для обитания оксифильных организмов-фильтраторов (Cladocera, Calanoida). Летом 2013 г. по руслу Волги в Иваньковском и Угличском водохранилищах на глубине $> 7 \text{ м}$ ($\text{O}_2 1\text{--}3 \text{ мг/л}$), количество рачков снижалось в 3–11 раз относительно их концентрации в слое 0–7 м. Отмечено резкое снижение (в 2–15 раз) их обилия в многолетнем ряду наблюдений (2005–2013 гг.). Численность ракообразных наиболее сильно (до 10 раз) снижалась на участках с массовым развитием цианобактерий. В Рыбинском водохранилище на глубине $> 7 \text{ м}$ ($\text{O}_2 4\text{--}6 \text{ мг/л}$) концентрация ракообразных была вдвое ниже, чем в слое 0–7 м. Достоверного уменьшения их количества в ряду многолетних наблюдений не выявлено. Вклад ракообразных планктона в общую фильтрацию вод водохранилищ составляет ~60 %, дрейссенид ~40 % (Лазарева и др., 2013). Снижение их обилия сказывается на самоочищающей способности их экосистем. На сегодня наиболее тяжелая ситуация сложилась в Иваньковском водохранилище, наилучшая – в Волге ниже Рыбинской ГЭС.

Response of upper Volga reservoirs ecosystem to climate warming: changes of oxygen regime and its impact on hydrobionts. V.I. Lazareva, E.G. Pryanichnikova, A.I. Tsvetkov. Oxygen reductions ($< 4 \text{ mg/l}$) in the water at the bottom layer 1–7 m observed in the Upper Volga reservoirs during summer of 2010–2015. As a result, decreased the density of benthic crustaceans and molluscs Dreissenidae, as well as filter feeders of zooplankton (Cladocera and Calanoida).