
8. Заключение

В результате проведения многолетних (1960—1992 гг.) исследований нами на примере водохранилищ Днепра определены структурно-функциональные характеристики бактериопланктона, количественные показатели его участия в процессах продуцирования и деструкции органического вещества планктонного сообщества, выяснены закономерности развития бактерий и установлены факторы, их определяющие, на различных этапах существования крупных равнинных водохранилищ под влиянием природных и антропогенных воздействий.

Микробиологический режим верхних, незарегулированных, участков реки определяется гидрометеорологическими условиями и ее гидрологическими характеристиками, а также объемом и характером поступающих загрязнений промышленными и бытовыми сточными водами; общее количество бактерий определяется первым фактором, количество бактерий, минерализующих лабильные органические вещества, и значение коли-индекса — вторым.

Качество воды верхних, незарегулированных, участков реки зависит от водности года и ухудшается до α -мезосапробной зоны, класса 4 «загрязненная», разряда 4б «сильно загрязненная» после маловодных лет вследствие вовлечения в биологический круговорот аллохтонного органического вещества и микрофлоры, оказавшихся выше уреза воды в маловодные годы.

Снижение микробиологических показателей загрязнения реки органическим веществом обычно регистрируется при зарегулировании расположенного выше участка вследствие осаждения в водохранилище взвешенных частиц с концентрированными на них бактериальными клетками, что было показано на примере среднего

Днепра после создания Киевского водохранилища. Улучшению качества воды способствует также создание очистных систем.

В головном водохранилище поступление бактериопланктона из питающих его рек — Днепра, Припяти и Тетерева — и его сброс в нижний бьеф плотины Киевской ГЭС независимо от возраста водохранилища определяются величиной водного стока рек и достигают максимальных величин в период весеннего паводка.

С возрастом водохранилища суммарный годовой приток бактериопланктона из питающих его рек, а также сброс из водохранилища в нижний бьеф имеют тенденцию к снижению: на 3-й, 7-й и 18-й годы существования водоема суммарный годовой приток бактериопланктона из рек составил 87220, 74743 и 42447 т, а его сброс в нижний бьеф водохранилища, имевший тенденцию к снижению, продолжал оставаться достаточно высоким — соответственно 86; 79 и 74 %.

В целом для головного водохранилища роль аллохтонного бактериопланктона незначительна: в период становления водоема среднегодовой суточный приток бактерий составил около 2 % его среднегодовых запасов, а сброс из водохранилища был еще менее значителен — 1,5 %.

Общая численность и биомасса бактериопланктона на разных этапах существования днепровских водохранилищ (от периода создания до аварии на Чернобыльской АЭС) в течение вегетационного периода изменялись (по среднемесячным данным) в достаточно близких пределах: в Киевском (создано в 1965 г.) — 1,2—5,8 млн. кл/мл и 0,5—4,5 г/м³; в Кременчугском (создано в 1961 г.) — 1,3—10,4 млн. кл/мл и 0,8—9,0 г/м³ и в Каховском (создано в 1955 г.) — 1,2—11,3 млн. кл/мл и 0,6—7,8 г/м³.

Количество гетеротрофных бактерий — показателей поступления в водоем лабильных азотсодержащих соединений, составляя в среднем 0,002—1,33 % от бактериопланктона, изменялось в различные сезоны года таким образом: в Киевском — от 0,15 до 5,0; в Кременчугском от 0,1 до 32,0 и в Каховском — от 0,2 до 16,8 тыс. кл/мл. Летом наблюдалось увеличение количества этих бактерий на 1—2 порядка по сравнению с соответствующим показателем в весенне-осенний период. Во все сезоны года была отмечена их вертикальная стратификация с повышением численности в поверхностных слоях водной толщи.

Соотношение прикрепленных и свободнопарящих бактериальных клеток в водохранилище определяется распределением

фитопланктона и его физиологическим состоянием. Так, в период интенсивного «цветения» Кременчугского водохранилища количество прикрепленных бактерий в местах концентрации водорослей составляло 65 %. Уменьшение по вертикали численности фитопланктона сопровождалось уменьшением количества прикрепленных бактерий, которое на глубине 13—15 м не превышало 35 % от общей численности бактериопланктона. В среднем по всей водной толще в период «цветения» днепровских водохранилищ 50—55% бактериальных клеток было сосредоточено на частицах детрита и планктонных организмах. В нагонных массах отмирающих водорослей количество прикрепленных бактерий может превышать 90 % от их общего содержания.

Относительное содержание в сестоне равнинных водохранилищ его живой фракции — *планктона* определяется интенсивностью продукционных процессов и не превышает в период «цветения» 27 %, на долю детрита приходится 73 % массы сестона. Доля бактерий в органическом веществе планктона и сестона зависит от состава водорослей. Так, в комплексе синезеленых биомасса бактерий ($5,0 \text{ г/м}^2$) составляет 54 % массы планктона и 15 % массы сестона (по СОВ). В комплексе диатомовых биомасса бактерий ($1,7 \text{ г/м}^2$) соответственно в 2,7 и 2,5 раза уменьшается и не превышает 20 и 6 %, что обусловлено менее благоприятным для бактерий химическим составом диатомовых водорослей.

Установлена положительная корреляционная связь бактериопланктона с органическим веществом сестона и детритом. Абсолютное и относительное количество бактерий в сестоне водохранилища наряду с качественным составом фитопланктона определяется и его физиологическим состоянием, увеличиваясь по мере старения и отмирания. Доля общего количества бактерий в сухой массе сестона комплекса синезеленых варьирует в широких пределах — от 0,8 % в местах концентрации физиологически активного фитопланктона до 38,0 % в нагонных массах отмирающих водорослей. В среднем по всей водной толще (например, в Кременчугском водохранилище) в период «цветения» доля бактерий в сестоне составляла 3,6 %.

Количество деструкторов белковых соединений в сестоне комплекса синезеленых водорослей составляло в среднем 37,2 млн. кл/г сырой массы, что не превышало 0,01 % общей численности бактериопланктона.

Скорость воспроизводства бактериопланктона, показателем которой является продолжительность генерации (g), изменялась в днепровских водохранилищах от периода их создания до аварии на ЧАЭС в пределах 17—70 ч в течение вегетационного периода с максимальными значениями летом или весной.

Суточная бактериальная продукция (P) составляла 0,3—1,4 г/м³, их удельная продукция (P/X_0) — 0,2—1,2.

Продолжительность генерации бактерий — деструкторов белковых соединений — изменялась в летний период в днепровских водохранилищах в пределах 3,4—12 ч. Их суточная бактериальная продукция (P) составляла 4,6—360 тыс. кл/мл, удельная продукция (P/X) — 2,5—31,2, что было выше в 5—35 раз, чем у тотального бактериопланктона.

Продукция белокразрушающих бактерий варьировала в общей продукции бактериопланктона в широких пределах, составляя в среднем в Киевском водохранилище 20 %, Кременчугском и Каховском — соответственно 0,3 и 0,7 %.

В условиях действия радиационного фактора отмечено снижение структурно-функциональных характеристик бактериопланктона вследствие как опосредованного (через фитопланктон, который является источником питательных веществ для бактерий), так и прямого действия на бактерии поверхностно-активных веществ, которые широко использовались для дезактивации в период катастрофы на Чернобыльской АЭС.

Так, в Киевском водохранилище общее количество бактерий в 1987—1988 гг. оказалось наименьшим — 1,5—0,76 млн. кл/мл за весь исследованный период (1965—1988 гг.). Продукция бактерий — деструкторов белковых соединений — сократилась от 360 до 87 тыс. кл/мл, а доля этой величины в общей продукции бактериопланктона — от 20 до 7 % после аварии (1988 г.) по сравнению с соответствующими показателями в первой половине 80-х годов.

При этом расчет вероятной дозы поглощения бактериопланктоном при максимальных значениях удельной активности воды (кюри/л) показал устойчивость бактериального населения к действию радиационного фактора: доза поглощения бактериопланктоном оказалась в 2,5 млн. раз ниже ЛД₅₀. Однако из-за высоких коэффициентов накопления радиоизотопов бактерии представляют опасность передачи радиоактивности по пищевой цепи.

В евтрофных водохранилищах продукция пелагического зоопланктона в основном определяется бактериальной пищей. При

этом оптимальное значение водорослей и бактерий в рационе фильтраторов зависит от флористического спектра фитопланктона. При доминировании в фитопланктоне колониальных синезеленых и протококковых доля водорослей и бактерий в рационе зоопланктонов составляла соответственно 30 и 70 %, что имело место на 12-м году существования водохранилища в начале 70-х годов. Возрастные значения в качественном составе фитопланктона одноклеточных форм динофитовых и эвгленовых увеличивает в этом соотношении долю водорослей — 45 и 55 %, что отмечалось на 21-м году жизни водохранилища в начале 80-х годов.

Количество потребляемого фитопланктона составило на 12-м и 21-м годах жизни евтрофного водохранилища соответственно 13 и 20 % от его продукции.

Различия в характере трофогенеза пелагиали и литорали евтрофного водохранилища определяется качественным составом водорослей глубоководных и мелководных участков и степенью их зарастания высшей водной растительностью.

В условиях доминирования в фитопланктоне синезеленых водорослей имеет место детритная пищевая цепь, в которой рацион бактерий (например, 4350 ккал/м² в Кременчугском водохранилище) на 70 % обеспечивается фитопланктоном за счет его прижизненных выделений и постлетальной минерализации. В условиях разнообразия качественного состава водорослей, что наблюдалось на мелководных участках второй террасы, превалирует пастбищная пищевая цепь, о чем свидетельствуют высокие показатели биомассы фильтраторов (до 40 %) в планктоне и низкие (до 2 %) значения удельного выедания бактерий (G/B). Заращение мелководных участков высшей водной растительностью, представляющей источник детрита, определяет и детритную пищевую цепь, что подтверждается возрастанием до 70 % G/B и регистрируется на мелководьях затопленной поймы.

Численность бактериопланктона в экосистеме евтрофных равнинных водохранилищ значительно ниже потенциальной (возможной при данных кормовых ресурсах) вследствие потребления бактериопланктонов простейшими и рачками-фильтраторами, являющимися существенным биотическим фактором, регулирующим концентрацию бактерий. Их выедание в среднем за вегетацию составляет 75—100 % бактериальной продукции (G/P) или 15—40 % от суммарной величины этой продукции и наличной биомассы $G/(P+B)$.

Количество ассимилированной бактериями энергии, которое рассеивается в процессе обмена, во все сезоны года превосходит количество энергии, идущей на конструктивные процессы.

Потребление кислорода на дыхание бактерий составляло в Киевском и Кременчугском водохранилищах в течение вегетационного периода 1,5—4,5 г O_2/m^2 , что соответствует 40,6—80 % потребления кислорода планктонным сообществом. Наименьшими (40,6 и 45,3 %) эти показатели были в Киевском и Кременчугском водохранилищах летом, когда доминирующими в биомассе планктона становятся водоросли.

В среднем за вегетацию доля бактерий в деструкции органического вещества составляла для Киевского и Кременчугского водохранилищ соответственно 52 и 55 %, что превышает соответствующие показатели для водорослей (30 %) и зоопланктона с учетом инфузорий (20 и 15 %).

В Каховском водохранилище, по сравнению с Киевским и Кременчугским, отмечены более низкие показатели функциональных характеристик бактериопланктона и снижение его трофического значения для зоопланктона. Это обусловлено более мощным воздействием в Каховском водохранилище антропогенных факторов вследствие поступления промышленных и бытовых сточных вод Запорожья, Никополя, Энергодара, Марганца, а также Днепропетровска и Днепродзержинска, расположенных выше Каховского водохранилища.

Применение метода проверки статистических гипотез позволило установить *четыре стадии в сукцессии бактериопланктона.*

Первая стадия (3—4 года) характеризуется активизацией бактериальных процессов вследствие «эффекта затопления» и низкими значениями коэффициента сукцессии (K): 0,17; 0,6 и 1,8 соответственно в Кременчугском, Каховском и Киевском водохранилищах. Это свидетельствует о превалировании в них лабильного органического вещества, а в бактериальной системе — быстрорастущих и активно потребляющих субстрат популяций.

Вторая стадия (10—15 лет и более) — период стабилизации бактериальной системы — характеризуется уменьшением общей численности бактерий, количества бактерий, минерализующих органические соединения азота и фосфора, а также скорости размножения бактериопланктона, его суточной и удельной продукции.

Третья стадия в развитии бактериального населения относится к первой половине 80-х годов и обусловлена усилением антропо-

генного воздействия на водохранилища, о чем свидетельствует увеличение в 2—3 раза (до 0,12 мг/л) концентрации органического фосфора. Этот период характеризуется увеличением значений функциональных показателей и численности бактерий, минерализующих лабильные органические соединения, до значений, зарегистрированных в период становления водохранилища (I стадия). Показателем усиления в бактериальной системе роли быстрорастущих популяций является снижение в этот период коэффициента сукцессии до 0,6—0,7; в 1985 г. его значение в Кременчугском и Каховском водохранилищах снизилось до 0,2.

Четвертая стадия относится ко второй половине 80-х годов и связана с радиоактивным и токсическим загрязнением днепровских водохранилищ. Этот период характеризуется снижением структурно-функциональных показателей бактериопланктона вследствие бактерицидного действия поверхностно-активных веществ, использовавшихся для дезактивации территории в период ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Уменьшение биомассы фитопланктона в этих условиях способствовало также снижению структурно-функциональных характеристик бактериопланктона.

Микробиологические показатели сапробности исследованных днепровских водохранилищ на разных этапах их существования были неодинаковыми и определялись характером антропогенного воздействия.

Увеличение загрязнения водохранилищ органическим веществом происходило в период их становления вследствие активной минерализации залитого ложа (I стадия), а также в первой половине 80-х годов в условиях усиления антропогенного воздействия (III стадия), когда качество воды характеризовалось как α -мезосапробная зона, класс 4 «загрязненная». Улучшение качества воды до β -мезосапробной зоны, класс 3 «удовлетворительной чистоты» регистрировалось в период стабилизации бактериальной системы (вторая стадия), а также в условиях действия радиационного загрязнения (четвертая стадия) вследствие интенсификации окисления органического вещества при фотохимических и радиохимических процессах (искусственное рассеивание облаков и повышение концентрации радиоактивного йода).

В 1990—1991 гг. вода Каховского водохранилища характеризовалась как β -мезосапробная, класс 3 «удовлетворительной чистоты», Киевского и Кременчугского в 1990 г. — как α -олигосапробная зона, класс 2 «чистая».

Фактор зарегулирования реки как таковой вызывает лишь временное ухудшение качества воды вследствие «эффекта затопления», при рациональном комплексном использовании водохранилищ оно восстанавливается до категории «достаточно чистая». Установлено, что на незарегулированном участке верхнего Днепра от истока до г. Лоева после маловодных лет качество воды ухудшалось до «сильно загрязненной», чего не наблюдалось в Киевском водохранилище даже в период его становления.

Установленные закономерности функционирования бактериопланктона и факторы, их определяющие, являются основанием для *прогноза ответных реакций бактерий* в различных ситуациях. Такие прогнозы разработаны нами по заданию Укрводпроекта для проектируемого Нижнеднепровского водохранилища в ТЭО «Возможные изменения экосистемы Днепровско-Бугского лимана в связи с сокращением стока Днепра» (Киев, 1979), Кременчугского водохранилища в «Экологической оценке мероприятий по увеличению полезной отдачи Кременчугского и Каховского водохранилищ» (Киев, 1991), а также для моделирования формирования качества воды Кременчугского водохранилища (ВНИИВО, Харьков, 1986).

Многоцелевое использование водохранилищ обусловило наличие на них нескольких хозяев, интересы которых бывают противоположными.

В целях рационального комплексного использования водохранилищ необходима организация единого управления, в котором достойное место **должны** занять **экологи**. Специальные хозяйственно-административные управления комплексного использования водных и биологических ресурсов водохранилищ должны быть наделены правом **межведомственного регулирования** интересов различных водопотребителей и водопользователей. Только согласованность их действий позволит осуществить комплекс водоохраных мероприятий, направленных на улучшение качества воды и повышение рыбопродуктивности водохранилищ.