

**РОЛЬ МИКРОБНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ФОРМИРОВАНИИ
КАЧЕСТВА ВОДЫ В БУРЕЙСКОМ И ЗЕЙСКОМ
ВОДОХРАНИЛИЩАХ**

Л.М. Кондратьева, Л.М. Чухлебова

*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,
ул. Ким-Ю-Чена, 65, Хабаровск 680000 Россия. E-mail: kondr@fe.ru*

Рассматриваются особенности развития бактериоценозов в разновозрастных водохранилищах Приамурья. В первые годы заполнения Бурейского водохранилища (2003–2004 гг.) активность микробных комплексов связана с деструкцией трудноминерализуемых растительных остатков в контактных зонах вода–берег, вода–дно. В Зейском водохранилище, созданном 30 лет назад, отмечена интенсивная деятельность аммонифицирующих бактерий, участвующих в самоочищении природных вод от мобильных органических веществ, поступающих с речным стоком. В водохранилищах в поверхностных и придонных слоях воды образуются фенольные соединения различного генезиса.

**ROLE OF MICROBIAL COMPLEXES IN WATER QUALITY FORMATION
OF BUREYA AND ZEYA RESERVOIRS**

L.M. Kondratjeva, L.M. Chukhlebova

*Institute for Aquatic and Ecological Problems, Russian Academy of Sciences, Far East Branch,
65 Kim-Yu-Chen Str., Khabarovsk 680000 Russia. E-mail: kondr@fe.ru*

The peculiarities considered in this paper concern the development of bacteriocenoses in the Primurie reservoirs of different age. As to the first years of filling the Bureya Reservoir (2003-2004) by water, the activity of microbial complexes is associated with a destruction of hardly mineralized plant residues in contact zones: water–bank, water–bottom. For the Zeya Reservoir created 30 years ago, there has been noted the intensive activity of ammonifying bacteria taking part in self-purification of natural waters from mobile organic matter coming with a river runoff. Phenol compounds of various geneses are formed in reservoirs' surface and bottom layers of water.

Важную роль в самоочищении природных вод вновь создаваемых и уже функционирующих водохранилищ играют микробиологические процессы, связанные с деструкцией различных органических субстратов, поступающих с поверхностным и речным стоком; из почв затопленных территорий, сельскохозяйственных угодий; растительных остатков, оставшихся после вырубки лесов. Судьба и потенциальный экологический риск вторичного загрязнения воды в водохранилище связаны с поступлением растворенных органических веществ и взвешенных частиц, представленных в форме растительных остатков, почвенных частиц и болотного гумуса либо в виде сложных альго-микробактериальных глобул, образующихся при избытке биогенных элементов. Агрегированное органическое вещество в некоторых случаях может состоять на 20–50 % из бактериальной биомассы.

В формировании микробного пула водохранилищ принимают участие представители почвенных микробиоценозов затопленных ландшафтов и планктонные микроорга-

низмы из тех водотоков, которые составляют водный фонд самого водохранилища. Следовательно, от биохимической активности этих двух экологических групп, от структурных преобразований внутри их сообществ будут зависеть самоочищающий потенциал и качество воды в водохранилище. «Зеркалом» происходящих биогеохимических процессов формирования качества воды в водохранилище служит сезонная динамика структуры микробных комплексов. По изменению численности отдельных эколого-физиологических групп водных микроорганизмов можно выявить специфику биохимических процессов в поверхностных и придонных слоях воды, обусловленную присутствием различных форм органических веществ (ОВ), в том числе природного и антропогенного происхождения (Микроорганизмы..., 2000).

Согласно программе научного социально-экологического мониторинга Бурейского гидроузла с июня по октябрь 2003–2004 гг. были проведены сезонные микробиологические исследования формирования качества воды на 2 створах в водохранилище в период его заполнения. В июле 2004 г. впервые проведена подробная микробиологическая съемка качества воды в Зейском водохранилище, созданном 30 лет назад.

Цель настоящей работы – показать роль микробных комплексов в формировании качества воды в поверхностных и придонных слоях разновозрастных водохранилищ Приамурья.

Пробы воды для микробиологических анализов отбирались в Бурейском водохранилище по общей схеме, разработанной для гидрохимических и гидробиологических исследований: 1-й створ – 200 м выше плотины, 2-й створ – 8 км выше плотины; поперечный профиль – 100 м от правого и левого берега, на середине; горизонтальный профиль – поверхностная и придонная воды. Микробиологическую оценку качества поверхностных и придонных вод в Зейском водохранилище проводили на 6 створах: 1-й – 1 км выше плотины (общая глубина 81 м); 2-й – устье р. Инарогда (глубина 69 м); 3-й – центральная часть водохранилища (глубина 28 м); 4-й – пос. Бомнак (бывшее русло р. Зея, глубина 11 м); 5-й – устье р. Уркан (глубина 21 м); 6-й – устье р. Мультуга (только поверхностные).

Учет численности микробных комплексов проводили путем пассажей на агаризованные питательные среды методом предельных разведений. Бактерий, участвующих в аммонификации на 1-м этапе минерализации ОВ, выращивали на концентрированном и разбавленном в 10 раз рыбо-пептонном агаре (РПА, РПА:10). Численность бактерий, выросших на РПА:10, отождествляли с общей численностью бактериопланктона. Численность нитрифицирующих бактерий, усваивающих аммонийный азот (2-й этап минерализации) учитывали на крахмал-аммиачном агаре (КАА). Индикаторов фенольного загрязнения культивировали на среде, содержащей минеральные компоненты и 1 г/л фенола.

Результаты и их обсуждение

Бурейское водохранилище. Согласно результатам мониторинга, проведенного в полевой сезон 2003 г., были отмечены существенные различия сезонного формирования качества воды в Бурейском водохранилище на двух створах (200 м и 8 км выше плотины) по вертикальному и поперечному профилю (от левого к правому берегу).

Показано, что основными факторами формирования качества воды в водохранилище служат поверхностный сток с берегов, особенно в зоне наиболее активной хозяйственной деятельности, и микробиологические процессы преобразования органических веществ различного генезиса в придонных слоях воды. Основная часть взвесей и загрязняющих веществ при снижении скоростей перемещения водных масс оседает при подходе к плотине, что полностью отражается на специфике распределения микроорганизмов в водной среде. Во время паводкового режима на р. Бурей ведущую роль в формировании качества воды играет гидродинамическое распределение водных масс и тонко-

дисперсного взвешенного материала. Наиболее интенсивное загрязнение поверхностных и придонных вод в водохранилище отмечено в июле и октябре, что было связано с паводком на р. Бурея и осенним поступлением органических веществ различного генезиса с поверхностным стоком, включая растительные остатки от лесосводки. Проведенные микробиологические исследования показали сложную динамику формирования качества воды в Бурейском водохранилище в первый год его заполнения (Кондратьева, Чухлебова, 2005).

В течение двух летних месяцев (июнь–июль) 2004 г. на 1-м створе (200 м выше плотины) качество поверхностных вод фактически не изменялось от берега к берегу (рис. 1, А). Отмечено лишь общее увеличение численности микроорганизмов в июле, что характерно практически для всех водных экосистем в связи с благоприятными абиотическими условиями для их развития. Активизация микробиологических процессов в поверхностных водах на 2-м створе отмечена в сентябре и октябре. Она обусловлена сезонным поступлением аллохтонных органических веществ с поверхностным стоком (рис. 2, А).

Как и в 2003 г. наиболее активные перестройки в структуре микробных комплексов Бурейского водохранилища происходили в придонных слоях воды (рис. 1, Б; 2, Б). Мак-

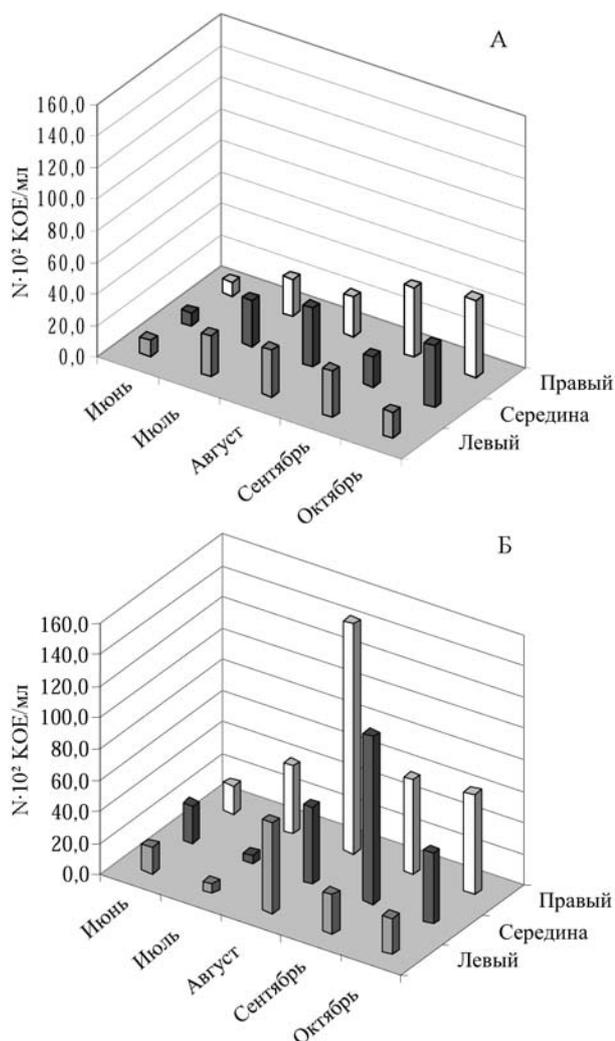


Рис. 1. Сезонная динамика численности бактериопланктона (N) в Бурейском водохранилище в 2004 г.: поверхностные (А) и придонные (Б) воды, 200 м выше плотины (створ 1). КОЕ – колониеобразующие единицы

симальная численность бактериопланктона была отмечена возле правого берега на 1-м створе в июле, августе и октябре в связи с антропогенным (в том числе техногенным) поступлением разнообразных загрязняющих веществ. На 2-м створе в придонных слоях воды на середине установлена естественная сезонная динамика постепенного увеличения численности бактериопланктона с июня по сентябрь. Возле берегов такой динамики не наблюдается. Происходит неравномерное увеличение численности микроорганизмов под влиянием поверхностного стока с прибрежных зон.

Как правило, в результате поступления или образования органических веществ различной степени доступности происходит изменение в структуре микробных комплексов. Поступление мобильных азотсодержащих органических веществ стимулирует развитие аммонифицирующих бактерий (АМБ), а увеличение численности фенол-резистентных бактерий (ФРБ) может быть ответной реакцией на присутствие ароматических соединений различного генезиса.

Высокое содержание мобильных ОБ установлено в июле на 1-м створе в поверхностных слоях воды на трех вертикалях с

максимумом в центральной части (рис. 3, А), что может быть обусловлено образованием автохтонных биохимически мобильных органических веществ за счет первичной продукции. Максимальная численность АМБ выявлена на 2-м створе возле левого берега, где пробы воды отбирались среди крон деревьев, затопленных на корню. Высвобождение легкодоступных органических веществ связано с активизацией микробиологических процессов за счет деструкции растительных субстратов при участии микроорганизмов, развивающихся на поверхности древесных остатков. Отмечено, что процессы аммонификации и нитрификации происходят наиболее активно в прибрежной контактной зоне в период максимальных температур.

В придонных слоях воды на 1-м створе ярко выраженных закономерностей в изменении содержания легкодоступных ОВ возле берегов не обнаружено. В центральной части отмечена сезонная динамика постепенного увеличения численности АМБ, что свидетельствует об образовании мобильных ОВ в течение летнего сезона вплоть до сентября. В целом численность АМБ в придонных слоях на обоих створах была ниже, чем в поверхностных водах. Максимальная численность АМБ чаще всего отмечалась на 1-м створе, что может быть связано с лучшим прогреванием воды и благоприятными условиями для развития водных организмов. В результате их жизнедеятельности в водную среду поступают автохтонные ОВ, при деструкции которых образуются фенольные соединения природного происхождения (Сиренко, Козицкая, 1988). Максимальная численность ФРБ установлена в июле в поверхностных водах возле левого берега среди затопленной древесины (рис. 3, Б). Этот факт свидетельствует о начавшихся процессах деструкции лигнинсодержащих органических веществ, входящих в состав растительных остатков, и высвобождении ароматических соединений фенольного ряда в результате их ферментативного расщепления. В дальнейшем численность ФРБ постепенно снижается, и в октябре эта группа индикаторов присутствия фенольных соединений становится минимальной.

Следует отметить, что по сравнению с 2003 г. в 2004 г. отмечено увеличение численности фенолрезистентных бактерий на 1-м створе в поверхно-

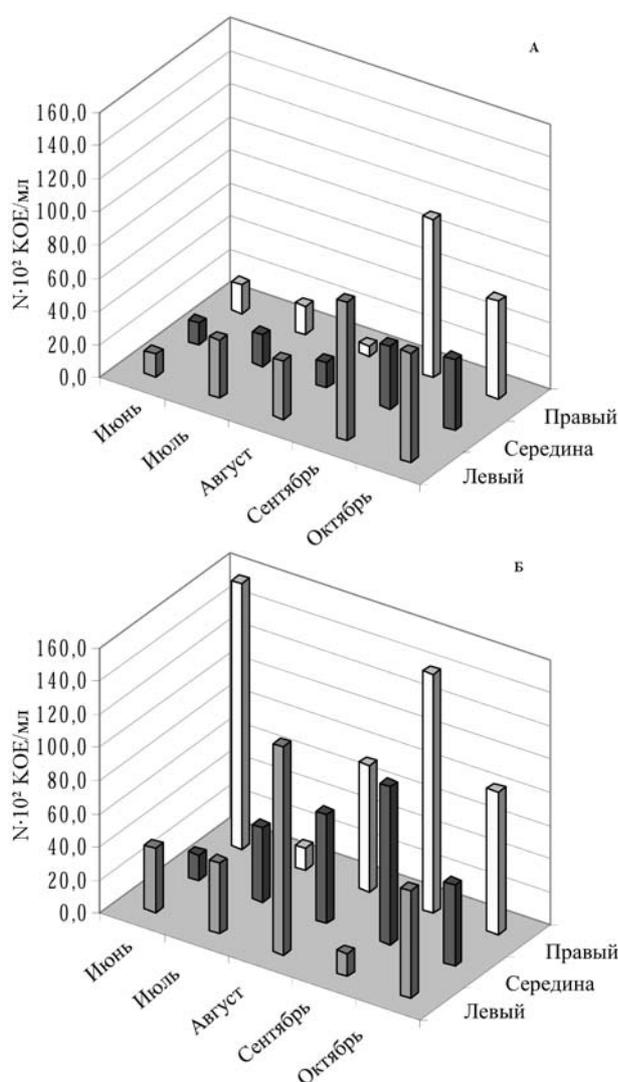


Рис. 2. Сезонная динамика численности бактериопланктона (N) в Бурейском водохранилище в 2004 г.: поверхностные (А) и придонные (Б) воды, 8 км выше плотины (створ 2). КОЕ – колониобразующие единицы

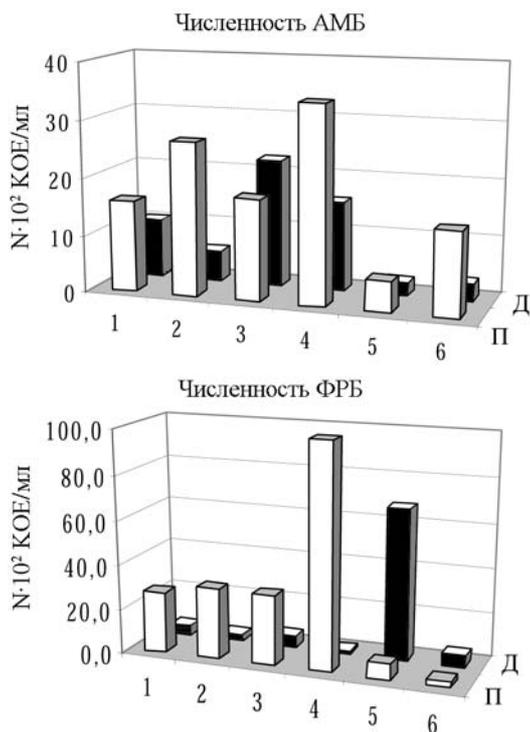


Рис. 3. Сравнительный анализ численности аммонифицирующих (АМБ) и фенолрезистентных (ФРБ) бактерий в Бурейском водохранилище (июль 2004 г.) в поверхностных (П) и придонных (Д) слоях воды: 1–3 – 200 м выше плотины; 4–6 – 8 км выше плотины; 1, 4 – возле левого берега; 2, 5 – середина; 3, 6 – возле правого берега

процессов как в поверхностных, так и в придонных слоях образуются фенольные соединения различного генезиса. Индикаторы фенольного загрязнения – фенолрезистентные бактерии позволяют выявить предпосылки образования фенолов. Так, если на 1-м створе в поверхностном слое воды фенолы могут продуцироваться фитопланктоном, то на 2-м створе в придонных слоях воды их образование связано с микробиологическими процессами деструкции древесины, затопленной в 2003 г., а также поступившей в 2004 г. во время поднятия уровня воды в водохранилище.

Зейское водохранилище. В разновозрастных водохранилищах процессы формирования качества воды контролируются различными факторами. Однако самоочищающий потенциал независимо от возраста водохранилища поддерживается при участии микробных комплексов.

Проведенные исследования качества воды в Зейском водохранилище в июле 2004 г. показали, что численность бактериопланктона в поверхностных и придонных водах значительно изменялась в зависимости от места отбора проб. В поверхностных водах максимальная численность бактериопланктона была обнаружена в зоне влияния рек Инарогда и Уркан (рис. 4, А). Самая низкая численность бактерий определена в воде Зейского водохранилища на 1-м створе (1 км выше плотины).

Интересная закономерность формирования качества воды обнаружена на нижнем бьефе (пос. Бомнак). Поверхностные воды на этом участке по своей чистоте занимали второе место, а придонные воды – второе место по загрязнению органическими веществами различного генезиса. При отборе придонных проб воды было отмечено изменение их органолептических свойств. Вода имела желтый цвет и неприятный сероводородный

стных водах. Однако максимальная численность ФБР за весь период наблюдений на всех горизонталях была на 2-м створе возле левого берега (2850 КОЕ/мл), где отмечено скопление древесины, что является доказательством активизации процессов разложения растительных остатков и образования фенольных соединений вторичного происхождения (Кондратьева, 2000). Причем активность процессов деструкции может быть намного выше в поверхностных слоях воды, чем в придонных, из-за существенной разницы в температурном режиме, фактически в 2 раза (в поверхностных – 25,8 °С; в придонных – 11,2 °С). Известно, что оптимальная температура для деструкции органических веществ составляет 23–25 °С. Однако несмотря на низкую температуру на 2-м створе, в центральной части водохранилища в придонных слоях воды в июле 2004 г. также отмечена высокая численность ФРБ. Этот факт может быть объяснен процессами деструкции растительных остатков и затопленной древесины, а также миграцией почвенных фенольных соединений в водную среду.

Приведенные данные говорят о том, что в результате внутриводоемных

запах. Здесь же было отмечено заиление дна. Высокая численность бактериопланктона отмечена в поверхностных и придонных водах напротив устья р. Уркан, возможно это связано с выносом и седиментацией органических веществ различного происхождения.

Согласно гидрохимическим исследованиям (Лопатко и др., 2005) до сих пор повышенное содержание органических веществ в Зейском водохранилище наблюдается в придонных водах. Максимальное содержание фенолов неоднократно отмечалось на нижнем бьефе водохранилища (пос. Бомнак).

Судя по численности АМБ, максимальное поступление биохимически лабильных азотсодержащих органических веществ в водохранилище происходит с водами р. Инарогда. Эта группа соединений обнаружена в большом количестве в поверхностных водах. Загрязнение воды мобильными органическими веществами в придонных слоях было значительно меньше (рис. 4, Б). Сопоставимая численность аммонификаторов отмечена в поверхностных водах на 1-м и 3-м створах (выше плотины и в центральной части). Максимальная численность бактериопланктона отмечена в поверхностных и придонных слоях воды в зоне влияния р. Уркан, но с учетом низкой численности аммонифицирующих бактерий можно предположить, что этой рекой выносятся главным образом трудноминерализуемые ОВ. Максимальное загрязнение мобильными органическими веществами отмечено в придонных слоях на 4-м створе (пос. Бомнак). Вероятно, здесь происходит миграция ОВ по древнему руслу р. Зeya. Максимальная численность нитрифицирующих бактерий обнаружена в поверхностных водах рек Инарогда и Уркан. В придонных слоях воды численность нитрификаторов была на многих створах ниже, чем в поверхностных водах, за исключением устья р. Уркан.

На основании микробиологических показателей можно утверждать, что загрязнение мобильными ОВ поверхностных вод Зейского водохранилища происходит главным образом со стоком рек Инарогда и Уркан. Но характер распространения загрязнения различен. Так, р. Инарогда оказывает влияние только на поверхностные воды, тогда как р. Уркан загрязняет поверхностные и придонные слои воды. Возможно, это связано с поступлением взвешенных веществ, которые при выносе в водохранилище оседают в устьевой зоне. В центральной части водохранилища отмечено загрязнение как поверхностных, так и придонных вод мобильными ОВ. Здесь же наблюдается дисбаланс между численностью аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий, что может быть причиной накопления ионов аммония, особенно в придонных слоях воды.

Особая ситуация в водохранилище складывается в связи с загрязнением трудноминерализуемыми ароматическими соединениями различного генезиса. Так, в поверхност-

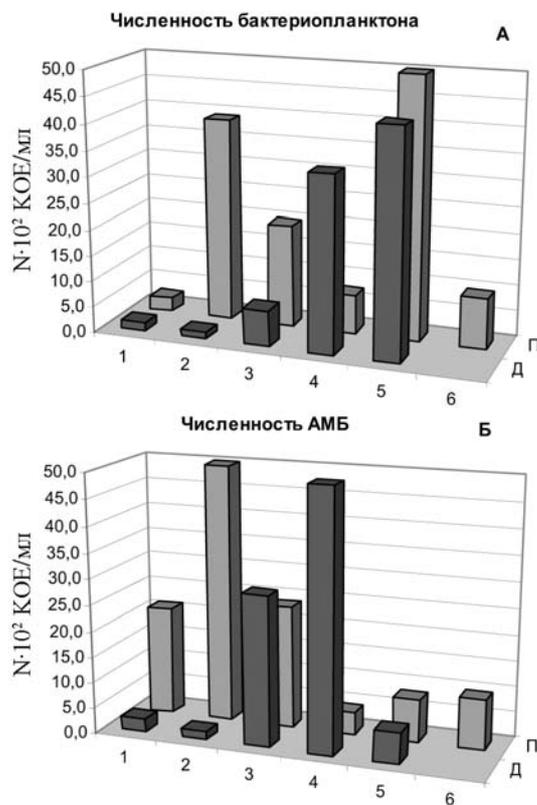


Рис. 4. Общая численность бактериопланктона (А) и аммонифицирующих бактерий (Б) в Зейском водохранилище в поверхностных (П) и придонных (Д) водах в июле 2004 г.: 1 – 1 км выше плотины (глубина 81 м); 2 – устье р. Инарогда (глубина 69 м); 3 – центральная часть (глубина 28 м); 4 – пос. Бомнак (бывшее русло р. Зeya, глубина 11 м); 5 – устье р. Уркан (глубина 21 м); 6 – устье р. Мульмута (только поверхностные воды)

ных водах максимальная численность индикаторов фенольного загрязнения установлена в центральной части водохранилища и в устьях рек Мульмуга и Инарогда (рис. 5). В период отбора проб воды на р. Инарогда наблюдался паводок, что могло отразиться на выносе с территории водосбора фенольных соединений природного и антропогенного происхождения. В Зейском водохранилище в его центральной части численность ФРБ в придонных слоях была выше в 2 раза, чем в поверхностных водах, и составляла соответственно 1390 и 640 КОЕ/мл. Минимальная численность ФРБ установлена в каньонной части водохранилища (1 км выше плотины).

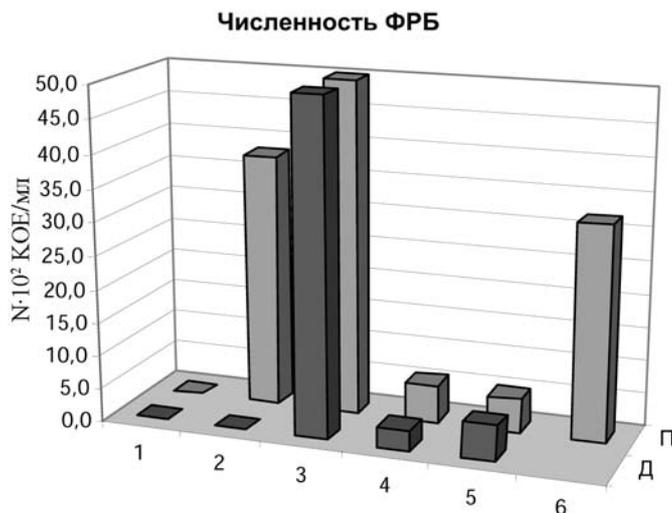


Рис. 5. Численность фенолрезистентных бактерий в Зейском водохранилище в поверхностных (П) и придонных (Д) водах в июле 2004 г.: 1 – 1 км выше плотины (глубина 81 м); 2 – устье р. Инарогда (глубина 69 м); 3 – центральная часть (глубина 28 м); 4 – пос. Бомнак (бывшее русло р. Зея, глубина 11 м); 5 – устье р. Уркан (глубина 21 м); 6 – устье р. Мульмуга (только поверхностные воды)

Проведенные исследования показали, что самые чистые воды в Зейском водохранилище обнаружены на приплотинном участке, здесь отмечена низкая численность бактериопланктона и его отдельных физиологических групп как в поверхностных, так и в придонных слоях воды. Максимальное загрязнение мобильными органическими веществами поверхностных вод отмечено в устье р. Инарогда, а придонные воды в значительной степени загрязнены на участке прежнего русла р. Зея. Разнообразные органические вещества и ионы аммония выносятся со стоком р. Уркан. Трудноминерализуемые ОВ фенольного ряда преобладают в центральной части водохранилища как в поверхностных, так и в придонных слоях воды. Они, скорее всего, имеют вторичное происхождение и образуются в результате микробиологической деструкции лигнинсодержащих субстратов.

Заключение

На основании микробиологических исследований установлены общие закономерности в формировании качества воды в Бурейском и Зейском водохранилищах: в придонных слоях воды присутствуют трудноминерализуемые органические вещества, в том числе фенольные соединения, которые образуются в результате деструкции лигнинсодержащих субстратов.

Влияние химического состава природных вод бассейна р. Буряя сказывается на формировании качества поверхностных вод в Бурейском водохранилище главным образом на 2-м створе. По мере приближения к плотине все более усиливается роль биогео-

химических процессов, активно происходящих в контактных зонах: вода–дно, вода–берег. Факторы формирования качества воды на двух створах различны. Наиболее существенные изменения качества воды в Бурейском водохранилище по поперечному и вертикальному профилю установлены в июле 2004 г. Анализ структуры микробных комплексов в поверхностных и придонных слоях воды свидетельствует о том, что наиболее вероятной предпосылкой образования ароматических соединений является деструкция растительных остатков. Так, максимальное количество индикаторов фенольного загрязнения обнаружено в июле на 2-м створе возле левого берега среди затопленных деревьев (2850 КОЕ/мл). В придонных слоях на этом же створе их численность оказалась в 4 раза меньше (677 КОЕ/мл), возможно из-за разницы в температуре.

В Зейском водохранилище загрязнение мобильными ОВ поверхностных вод происходит главным образом со стоком рек Инарогда и Уркан. Высокое содержание органических веществ фенольного ряда установлено в центральной части Зейского водохранилища как в поверхностных, так и в придонных слоях воды. Они имеют вторичное происхождение и образуются в результате внутриводоемных процессов. В обоих водохранилищах, несмотря на различия в возрасте и низкие температуры, в придонных слоях воды происходят активные микробиологические процессы деструкции органических веществ различного генезиса.

Литература

- Кондратьева Л.М.* Вторичное загрязнение водных экосистем // *Вод. ресурсы.* 2000. № 2. С. 221–231.
- Кондратьева Л.М., Чухлебова Л.М.* Микробиологическая оценка сезонного формирования качества воды в Бурейском водохранилище // *Науч. основы экол. мониторинга водохранилищ: материалы всерос. науч.-практ. конф., Хабаровск, 28 февр.–3 марта 2005 г.* Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2005. С. 78–81. (Дружининские чтения; вып. 2).
- Лопатко А.С., Карандашов А.И., Юдина И.М., Пискунов Ю.Г.* Состав воды Зейского водохранилища спустя 30 лет с начала его заполнения // *Науч. основы экол. мониторинга водохранилищ: материалы всерос. науч.-практ. конф., Хабаровск, 28 февр.–3 марта 2005 г.* Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2005. С. 69–71. (Дружининские чтения; вып. 2).
- Микроорганизмы в экосистемах Приамурья / под ред. Л.М. Кондратьевой. Владивосток: Дальнаука, 2000. 198 с.
- Сиренко Л.А., Козицкая В.Н.* Биологически активные вещества водорослей и качество воды. Киев: Наук. думка, 1988. 256 с.