

МИКРОВОДОРОСЛИ ПЕРИФИТОНА ПРИБРЕЖНЫХ ВОД Г. ВЛАДИВОСТОКА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

А.А. Бегун

Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, г. Владивосток

Диатомовые водоросли вместе с бактериями образуют первичную пленку на внесенных в море предметах и способствуют развитию макрообрастания, с которым приходится активно бороться, например, при эксплуатации судов, водоводов и т.п. Благодаря прикрепленному образу жизни перифитонные диатомеи могут быть отнесены к числу важных индикаторов антропогенного пресса на водные экосистемы, поскольку являются фотоавтотрофными организмами и характеризуются специфичной микромасштабностью распределения в биотопе, в том числе, под влиянием загрязнений вод и донных отложений. Бытовые и промышленные сбросы города Владивостока оказывают сильное влияние на экологическое состояние прибрежных морских вод. Наиболее интенсивное антропогенное загрязнение в течение нескольких последних десятилетий прослеживается в бух. Золотой Рог с преобладанием химического, нефтяного и термального типов. До настоящего времени в российских водах Японского моря оставались совершенно не исследованными таксономический состав и количественные характеристики микроводорослей, развивающихся на антропогенных субстратах. Цель настоящей работы заключалась в изучении сезонной динамики количественных показателей микроводорослей перифитона в зависимости от типа антропогенного субстрата и времени его экспозиции в море в прибрежных акваториях г. Владивостока, в различной степени подверженных антропогенному загрязнению.

Материалом для исследования послужили количественные сборы микроводорослей перифитона, проведенные в летне-осенний период 2000 и 2001 г. в прибрежной зоне г. Владивостока в импактных и фоновых акваториях. В 2000 г. пробы отбирали в июне-октябре синхронно в бух. Золотой Рог (импактный район) и в бух. Рында (о. Русский), воды которой по основным гидрохимическим показателям соответствуют открытым водам Японского моря (фоновый район). Образцы-пластины (80x40x1,5 мм) из оргстекла, дерева и высоколегированной стали X18H10T экспонировались в море в течение 15 суток на горизонте 2 м с борта двух судов, пришвартованных к 44-му (район станции Мальцевская) и 42-му (район станции мыс Чуркин) причалам в бух. Золотой Рог. Кроме того, в исследуемых районах синхронно экспонировались экспериментальные пластины из оргстекла, дерева и высоколегированной стали X18H10T с нарастающим сроком экспозиции (143-134 суток).

В 2001 г. в период с июня по ноябрь проведены исследования двух серий экспериментальных пластин из асбоцемента (20x20 см²) с последующей съемкой дважды в

месяц в бух. Золотой Рог (район 44 причала, импактный район) и в Уссурийском заливе (бух. Сухопутная, фоновый район). Для изучения динамики оседания микроводорослей перифитона пластины первой серии дважды в месяц снимали и заменяли на новые. Вторая серия пластин использовалась для исследования формирования сообщества микроводорослей перифитона. С них с такой же частотой отбирали пробы обрастания с нарастающим сроком экспозиции: 0,5, 1, 1,5 мес. и т.д. Методы сбора и камеральной обработки микроводорослей перифитона, а также расчет плотности и биомассы клеток проводили согласно стандартным общепринятым методикам.

Результаты исследований 2000 г. показали, что качественный состав микроводорослей перифитона на субстратах различного типа был достаточно сходным (70-84 %). Количественные показатели микроводорослей перифитона на экспериментальных пластинах из оргстекла с 15-суточным сроком экспозиции варьировали в бух. Рында от 0,42 до 33,3 млн. кл./м² и от 0,96 до 91,9 мг/м², в бух. Золотой Рог в районе 42 причала - от 1,01 до 28,8 млн. кл./м² и от 2,3 до 73,7 мг/м², в районе 44 причала – от 0,48 до 20 млн. кл./м² и от 2,01 до 86,7 мг/м². Среднегодовые количественные показатели микроводорослей на различных субстратах с 15-суточным сроком экспозиции увеличивались в последовательности: высоколегированная сталь (6,2-3,7 млн. кл./м²) → оргстекло (7,5-10,5 млн. кл./м²) → дерево (37,2-45,8 млн. кл./м²). На пластинах с нарастающим сроком экспозиции количественные показатели микроводорослей на субстратах различного типа почти не отличались. Полученные результаты свидетельствуют о том, что тип субстрата имеет существенное значение для количественного развития микроводорослей перифитона. Древесина является естественным субстратом, способствующим более интенсивному формированию бактериально-диатомовой пленки, в отличие от искусственных нейтральных субстратов. Высоколегированная сталь, напротив, обладает высокой антикоррозионной устойчивостью, препятствующей адгезии бактериальных клеток и диатомей. Такая закономерность прослеживалась только на пластинах с 15-суточным сроком экспозиции. При наличии развитого макрообрастания с предварительно наросшей бактериальной пленкой тип субстрата не оказывает столь существенного влияния на количественные показатели микроводорослей. Показано, что по мере развития перифитона микроорганизмы настолько модифицируют соответствующий субстрат, что исходные свойства его поверхности постепенно утрачивают свое значение. На основании полученных результатов следует вывод, что физико-химические свойства субстрата оказывают значительное воздействие на количественные показатели микроводорослей перифитона лишь на начальных этапах его развития.

Результаты исследований 2001 г. показали, что количественные показатели микроводорослей перифитона на экспериментальных пластинах с 15-суточным сроком

экспозиции варьировали в Уссурийском заливе от 0,6 до 23,9 млн. кл./м² и от 1,96 до 49,2 мг/м², в бух. Золотой Рог - от 0,1 до 19,4 млн. кл./м² и от 0,18 до 9,6 мг/м². На пластинах с нарастающим сроком экспозиции количественные показатели микроводорослей перифитона варьировали в Уссурийском заливе от 0,69 до 42,9 млн. кл./м² и от 1,06 до 244 мг/м², в бух. Золотой Рог – от 0,22 до 104 млн. кл./м² и от 0,37 до 115 мг/м². Среднегодовые показатели плотности микроводорослей перифитона на 15-суточных пластинах в бух. Золотой Рог были ниже (2,4 млн. кл./м²), чем в Уссурийском заливе (8,35 млн. кл./м²). На пластинах с нарастающим сроком показатели плотности, напротив, были выше в бух. Золотой Рог (26,3 млн. кл./м²), чем в Уссурийском заливе (17,7 млн. кл./м²).

Снижение количественных показателей микроводорослей в бух. Золотой Рог на пластинах с 15-суточным сроком во многом обусловлено экстремальным уровнем антропогенного загрязнения, выражающегося в евтрофировании и нефтяном загрязнении, что угнетающе воздействует на развитие диатомовых. Максимальное снижение плотности диатомовых водорослей в бух. Золотой Рог на пластинах с 15-суточным сроком экспозиции (0,16 млн. кл./м²) совпадало со скачком концентрации нефтеуглеводородов в водах р. Обьяснения (8,07 мг/дм³), влияющей на экологическую ситуацию кутовой части бухты. Как известно, нефтеуглеводороды при высоких концентрациях способны угнетать процесс фотосинтеза у диатомовых водорослей и вызывать снижение их количественных показателей. Очевидно уровень содержания «ядовитых» для диатомовых водорослей веществ в кутовой части бух. Золотой Рог превышал критический, за которым происходит ингибирование ферментативных систем клеточных мембран, разрушения структуры хлоропластов и угнетение фотосинтеза за счет блокирования функций хлорофилла. На фотосинтетический процесс микроводорослей в водной среде бух. Золотой Рог значительно влияет повышенная мутность воды, т.к. для этого района характерна низкая прозрачность воды вследствие высокой концентрации взвеси, а также всех форм органического вещества. Снижение плотности микроводорослей в бух. Золотой Рог во многом обусловлено термальным загрязнением бухты сбросными водами Владивостокской ТЭЦ-2. Известно, что в водоемах-охладителях, подверженных влиянию подогретых вод системы охлаждения электростанций, чрезмерное повышение температуры воды приводит к угнетению донных микроводорослей.

В бух. Золотой Рог отмечено массовое развитие видов-индикаторов органического загрязнения воды *Amphora lineolata* Ehr. и *A. caroliniana* Giffen, способных к миксотрофии. В то же время, в фоновом районе (Уссурийский залив) одним из самых массовых видов был индикатор условно чистых вод олигосапробионт *Bacillaria paxilifer* (O. Mull.) Hendeу. В бух. Золотой Рог ответной реакцией на неблагоприятное воздействие среды явилось возникновение морфологических аномалий клеток у популяции диатомовой водоросли

Cocconeis scutellum Ehr. в виде вогнутости створки. В бух. Рында отмечалась высокая плотность видов-индикаторов органического загрязнения *Nitzschia tenuirostris* Mer. и *Cylindrotheca closterium* (Ehr.) Reim. et Lew. Это обусловлено преимущественно естественным евтрофированием вод бухты в результате элиминации обильных макрофитов и их прижизненных выделений, обогащающих воду растворенным органическим веществом.

В Уссурийском заливе на пластинах с 15-суточным и нарастающим сроками экспозиции по плотности преобладали бентосные и бентопланктонные микроводоросли. В бух. Золотой Рог значительную часть исследуемого периода преобладали планктонные формы микроводорослей. На пластинах с нарастающим сроком экспозиции среднегодовые значения индекса видового разнообразия Шеннона в бух. Золотой Рог значительно ниже ($H=0,94$), чем в Уссурийском заливе ($H=2,24$), что обуславливалось доминированием истинно планктонных микроводорослей в периоды их «цветения» в планктоне. Снижение плотности донных диатомовых водорослей при появлении планктонных общеизвестно и связано с целым комплексом различных факторов. Увеличение числа планктонных форм диатомовых водорослей и их плотности в бентосе обычно соответствует началу усиления антропогенного евтрофирования акватории. На мелководьях, где длительное время концентрировались планктонные водоросли, нормальная бентосная флора развивалась очень слабо. При большой массе осевшего фитопланктона увеличивается содержание органических веществ и детрита и возникает дефицит кислорода, что оказывает угнетающее воздействие на микроводоросли.

Таким образом, количественное развитие микроводорослей перифитона в значительной степени обусловлено типом субстрата и временем его экспозиции в море. В бух. Золотой Рог в условиях экстремального уровня антропогенного загрязнения отмечены специфические черты развития микроводорослей перифитона, выражающиеся в доминировании видов-индикаторов органического загрязнения, количественном преобладании планктонных форм микроводорослей и их покоящихся стадий, снижении количественных показателей микроводорослей на пластинах с 15-суточным сроком экспозиции, снижении видового разнообразия микроводорослей на пластинах с нарастающим сроком экспозиции, а также наличии морфологических аномалий створок у популяции диатомовой водоросли *Cocconeis scutellum*. Как известно, при увеличении в воде количества органики «аборигенные» виды микроводорослей замещаются «антропогенными». В результате этого происходит формирование высокоэффективного климаксного комплекса видов, выдерживающего значительное загрязнение биогенами. Поэтому очевидно, что водные экосистемы такого типа, как бух. Золотой Рог подвергаются обоим подавляющим факторам – увеличению объемов сбросов и увеличению их токсичности, оказывающим в целом не стимулирующее, а ингибирующее влияние на развитие микроводорослей.