

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Каспийское море является одним из крупнейших и наиболее продуктивных внутренних морей мира. Оно имеет большое значение в экономике нашей страны. Мировую славу Каспию принесли его рыбные богатства, так как в нем находится самое большое в мире стадо осетровых рыб.

Как известно, уровневый режим Каспийского моря за последние 40 лет подвергается значительным флуктуациям, а само море и его бассейн – антропогенному воздействию.

В связи с указанным выше необходимо было тщательно изучить начальные звенья продукционных процессов в этом водоеме и деструкционную деятельность микроорганизмов. Проведенные ранее микробиологические и продукционные исследования Каспия касались деятельности специфических групп микроорганизмов или общих вопросов продукции и деструкции органического вещества. Они проводились эпизодически на отдельных участках моря, что не позволило произвести достоверные расчеты для всей его акватории. Применение высокочувствительного радиоуглеродного метода позволило определить продукцию фитопланктона на больших акваториях моря, а также изучить распределение водорослей, получить световые кривые до больших глубин даже в самых бедных районах моря, чего нельзя было достичь кислородным методом. Радиоуглеродный метод позволил нам определить также продукцию бактериальной биомассы. Подобные исследования ранее в Каспии не производились. Применяя эти методы в Каспийском море на всей его акватории, нами было впервые осуществлено подробное исследование одного из важнейших элементов его биологической продуктивности – первичной продукции органического вещества в процессе фотосинтеза фитопланктона и выполнены комплексные исследования распределения биомассы и функциональной активности микрофлоры в толще воды и донных осадков.

Исследовательские работы проводились в течение 25-летнего периода. Изучались различные акватории моря, его бухты и экологические ниши и биотопы в сезонном аспекте, что в конечном итоге позволило воссоздать общую картину микробиологических процессов продукции и деструкции органического вещества в море в целом и в его отдельных частях. Результаты проведенных исследований дали основание в первом приближении произвести расчет баланса органического вещества для всей акватории моря.

Прежние сведения о продукции фитопланктона Каспийского моря, полученные малочувствительным кислородным методом на отдельных участках, не могли быть исчерпывающими для всей акватории моря (Дацко, 1959). Поэтому и рассчитанная годовая величина продукции фитопланктона для Северного Каспия (Федосов, Барсукова, 1959) оказалась заниженной более чем в 2 раза. Также весьма противоречивыми были результаты определения величины продукции бактериальной биомассы моря. Например, по Криссу (1959), она равна 1,6, по Цыбань (1976), – 12–16 млн т в органическом веществе, тогда как, по нашим данным, только в Северном Каспии она превышает 7 млн т/год.

Таким образом, благодаря применению новой методологии работ с охватом больших акваторий в течение всех сезонов, нами получены совершенно новые данные, которые дают основание заново пересмотреть и по-новому оценить трофику каждого участка в отдельности и всего моря в целом.

Полученные результаты позволяют четко воссоздать общую картину зонального распределения продукции фитопланктона, бактериальной биомассы, численности бактерий, величины деструкции органического вещества в широтном и меридиональном направлениях. Такой комплексный подход позволил установить, что Каспийское море является одним из наиболее продуктивных водоемов СССР, где в течение всего года происходит интенсивное развитие бактерио- и фитопланктона.

Были выявлены закономерности сезонных колебаний и регионального распределения интенсивности продукционно-деструкционных процессов, а также тенденция их многолетних изменений. Под влиянием антропогенного стресса в последние годы значительно изменились экологические условия формирования биологической продуктивности в шельфовой зоне у западного побережья. В то же время эта акватория с давних времен служит зоной нагула рыб прикуринского района Каспия. Вызывает тревогу установленный нами факт прогрессирующей эвтрофикации прикуринского, апшеронского участков, которые находятся в преддверии владин. Резкое снижение прозрачности, увеличение величины деструкции органического вещества, повышение численности микроорганизмов вызывают интенсивное потребление кислорода в толще вод, которое может вызвать анаэробиоз.

Высокий уровень продукции органического вещества фитопланктоном служит основой высокой продукции бактерий в воде и в донных отложениях.

Положительная корреляция продукции фитопланктона и числа бактерий указывает на то, что в Каспийском море происходят быстрая минерализация органического вещества и интенсивная регенерация биогенных элементов, которые в значительной степени обеспечивают развитие фитопланктона в шельфах.

При современных экологических ситуациях в результате фотосинтеза фитопланктона в Каспийском море за год образуется 114 млн т С органического вещества; в Северном Каспии – 22, в Среднем Каспии – 51, в Южном Каспии – 41 млн т С. В расчете на 1 м<sup>2</sup> поверхности моря продукция фитопланктона для всего моря равна 308 г С/м<sup>2</sup> в год: в Северном Каспии – 274; Среднем – 369, Южном – 273.

Наименьшее количество органического вещества образуется у восточного побережья моря, уступающего по продуктивности западному в среднем в 8 раз. Центральная часть Каспийского моря занимает промежуточное положение. Наиболее высокие величины продукции фитопланктона на единицу объема воды отмечаются в западной и северо-восточной частях Северного Каспия, достигающие летом 1,07 мг С/л · сутки, в то же время в восточной части они не превышают 0,4 мг С/л · сутки, т.е. меньше в 2,7 раза. Из этих данных видно, что поток речных вод оказывает громадное влияние на образование органического вещества.

Во всех частях моря (северной, средней и южной) продукция фитопланктона выражается близкими величинами в расчете на 1 м<sup>2</sup>, но производится органическое вещество в трофогенном слое разной толщины: в Северном Каспии – 5 м, в Среднем – 45, в Южном – 50 м.

В условиях отсутствия термоклина живые водоросли распределяются в глубоководных районах моря до 300 м с максимумом численности в эвфотической зоне. При наличии температурного скачка всегда наблюдается скопление водорослей в зоне термоклина. Установлено, что между прозрачностью воды по диску Секки и интенсивностью фотосинтеза под 1 м<sup>2</sup> поверхности при равномерном натуральном или заданном натуральном распределении водорослей связь выражается коэффициентом 0,5.

Таким образом, разработанный метод определения продукции фитопланктона под 1 м<sup>2</sup> площади с использованием найденной связи между фотосинтезом и прозрачностью воды по диску Секки позволяет проводить анализы на больших акваториях морей.

Результаты стационарных и повторных наблюдений дали возможность установить, что в западной шельфовой зоне, в частности в районе островов Апшеронского и Бакинского архипелагов, за последние 25 лет продукция фитопланктона понизилась под воздействием антропогенных факторов в 3 раза. То же наблюдается в крупных заливах и бухтах. Перераспределение продукции фитопланктона произошло в шельфовой

зоне от Сумгайта до Алятского взморья в сторону ее понижения в прибрежье и увеличение – в зоне 25–50-метровой глубины.

В итоге многолетних исследований были выделены участки явного эвтрофирования моря (акватория южнее Махачкалы, южнее Шиховского мыса, юго-восточнее устья р. Куры).

Для оценки роли бактериопланктона в формировании биологической продуктивности Каспийского моря определение величины деструкции органического вещества воды и донных отложений имеет исключительно важное значение. Так, впервые выявлено, что деструкция органического вещества в Каспийском море равна 131 млн т С в год, в Среднем Каспии – 50, в Южном Каспии – 52, в Северном Каспии – 29 млн т С в год. Расчеты произведены для 100-метрового слоя с учетом того, что основная масса органического вещества разрушается в нем, а определение деструкции в лежащих ниже слоях воды из-за возможных погрешностей не представляется реальным. Распределение интенсивности деструкции органического вещества по акватории Каспийского моря согласуется с продукцией фитопланктона. Процессы окисления органического вещества наиболее интенсивно протекают в западной половине моря и в Северном Каспии, наименее интенсивно – в восточной и центральной частях. Максимальные величины деструкции отмечаются в эстуариях рек (1,5 мг С/л · сутки) и в районах коммунально-бытовых сбросов (2–3 мг С/л · сутки), а также в максимально продуктивных заливах и бухтах (3–4 мг С/л · сутки) по сравнению с величинами деструкции в восточных частях моря, выраженными в десятих и сотых долях мг С/л · сутки.

Активные процессы деструкции органического вещества в донных отложениях отмечаются в Северном Каспии, в шельфовой зоне западного побережья, составляют соответственно 400–600 мг С/м<sup>2</sup> и хорошо увязываются с особенностями грунта. В грунтах восточного побережья, состоящих главным образом из ракушечника, величина деструкции не превышает 60 мг С/м<sup>2</sup> · сутки. Суммарная величина деструкции органического вещества в донных отложениях Каспия равна 9,8 млн т С; в Северном Каспии – 3,4 млн т С, в Среднем – 3,7 млн т С, в Южном Каспии – 2,7 млн т С.

Исходя из изложенного выше, впервые рассчитан баланс органического вещества на реально полученных результатах для всех частей моря, приходная часть которого составляет 123,8 млн т С, расходная – 131 млн т С. Основные статьи баланса составляют продукция фитопланктона (92,7%) и бактериальные процессы деструкции (96%).

С целью выяснения роли микрофлоры в биотической трансформации органического вещества в море необходимо было определить многолетнюю сезонную динамику численности продукции и биомассы бактерий, а также время ее генерации. Именно такой подход к решению вопроса позволил нам установить, что общее число бактерий в воде Каспийского моря изменяется в меридиональном, широтном направлениях и по сезонам года. В Северном Каспии оно колеблется в пределах 0,1–4 млн кл./мл. Максимальное число бактерий отмечается в зонах эстуариев рек Волги, Урала, Терека и Сулака (2,7–4 млн/мл). Число бактерий в западной и северо-восточной частях в 4–8 раз больше, чем в центральной и юго-восточной зонах Северного Каспия. Высокая численность бактерий за весь год приходится на летне-осенний сезон. В Среднем Каспии максимальная численность бактерий отмечается за весь год в его западном шельфе (1,7–2,4 млн кл./мл), минимальная – в восточном – 0,1–0,2 млн кл./мл, что в среднем в 8–10 раз ниже численности бактерий воды у западного побережья. Летом число бактерий превосходит численность бактерий остальных сезонов в среднем в 2 раза.

Отмечается ярко выраженная тенденция к снижению числа бактерий в воде Сумгайтского взморья, где за 15 лет оно сократилось в 1,5 раза. В районе глубин 25–50 м, наоборот, произошло увеличение численности бактерий в 2 раза. В глубоководной зоне Среднего Каспия сезонное изменение численности бактерий происходит в слоях до 150 м. Количество бактерий по сезонам изменяется плавно: минимально зимой (0,9–0,2 млн кл./мл) и максимально летом (0,3–0,4 млн кл./мл).

В Южном Каспии развитие микроорганизмов происходит в сложных экологических условиях и поэтому численность бактерий в течение года варьирует в больших пределах.

лах – 0,16–3,4 млн кл./мл. Апшеронское побережье, акватория островов и прикурино-ский район отличаются максимальной численностью бактерий (2–3 млн кл./мл.). В Бакинской бухте, обогащенной органическим веществом коммунально-промышленных сбросов, число бактерий максимально во все сезоны года. Заливы, бухты южнее Апшеронского полуострова характеризуются высоким содержанием микроорганизмов. В восточной части Южного Каспия сезонное изменение численности бактерий выражено весьма слабо и составляет (за исключением Туркменского и Красноводского заливов) 0,3–0,5 млн кл./мл, что почти в 2 раза больше, чем в восточной части Среднего Каспия.

В глубоководной части Южного Каспия среднее число бактерий уступает таковому Среднего Каспия и не превышает 0,3 млн/мл. На глубине 700–800 м оно по сравнению с таковым в поверхностном слое сокращается почти в 100 раз. В слоях термоклина, за исключением восточного шельфа Среднего Каспия, число бактерий в 1,5–2 раза больше, чем в поверхностных слоях воды моря.

Общая продукция бактериальной биомассы, рассчитанная для всей акватории Каспийского моря, составляет около 54 млн. т С/год. Более 40% этой продукции приходится на летний сезон, а 45–50% – на западное побережье Каспийского моря. Характерно, что эта продукция эквивалентна почти 45% продукции фитопланктона.

Поскольку суммарная деструкция органического вещества соизмерима с годовой продукцией фитопланктона, то данную величину бактериальной продукции можно считать близкой к экономическому коэффициенту ( $K_2$ ).

Время генерации бактерий в Северном Каспии летом равняется 17, осенью – 47, весной – 53, а зимой – 112 ч. В Среднем и Южном Каспии время генерации бактерий в поверхностных слоях воды для летнего сезона составляет 16–20 ч, осенью и весной время генерации бактерий в восточной части – 26–32 ч, зимой оно возрастает почти в 2–3 раза. В глубинных слоях (более 100 м) сезонное изменение времени генерации почти не наблюдается – более 100–150 ч.

Численность сапрофитных бактерий в воде Каспия изменяется в большем диапазоне как по сезонам, так и по участкам. Максимальное их количество отмечается в западном шельфе, особенно в зонах поступления речных и коммунально-бытовых стоков, где оно варьирует от 4 (Махачкала, Каспийск) до 15 тыс. кл./мл (Апшеронское побережье). В течение года в открытом море высокая численность сапрофитов отмечается летом и осенью (800–1000 кл./мл). Эвфотический слой, особенно термоклин, является основным местом интенсивного развития сапрофитов (800–1600 кл./мл), глубже 130–150 м их количество резко убывает и на глубине 400–700 м составляет лишь 4–9 кл./мл. Вода восточного побережья Каспия отличается минимальным количеством сапрофитов – 30–260 кл./мл.

Окружная зона островов, акватория заливов и бухт моря характеризуется сравнительно высоким количеством сапрофитов – 600–1300 кл./мл.

Обнаружена положительная корреляция между величинами продукции фитопланктона, деструкции органического вещества и численностью сапрофитов в открытой части и восточном побережье моря. Такая же связь между количеством аллохтонного субстрата и содержанием сапрофитов отмечается на западном побережье Каспия.

Общее число бактерий в грунтах Северного Каспия в течение года варьирует в пределах 0,2 (зима) – 8 млрд кл./г (лето). В летний период отмечена разница в общей численности бактерий по участкам. В ракушечных и крупнозернистых грунтах (Уральская бороздина, юго-восточная часть) содержится наименьшее число бактерий (0,2 млрд кл./г). Выявленна тенденция к снижению количества бактерий донных осадков в последние годы в 1,5–2 раза.

В Среднем Каспии максимальное число бактерий отмечается в грунтах западного шельфа до 13,7 млрд кл./г, кроме прибрежных участков Сумгайита, Артемы и Апшеронского полуострова, где отмечается наименьшее число бактерий для всего моря – 0,06–0,1 млрд кл./г. Грунт восточного побережья, состоящий в основном из ракушечника, содержит 0,2–0,45 млрд кл./г.

Общее число бактерий в грунтах Южного Каспия 2,6–5,6 млрд кл./г. В шельфовых зонах число бактерий в грунтах за весь год оказывается максимальным (за исключением донных осадков Бакинской бухты). В грунтах восточной части число бактерий достигает 1,5 млрд кл./г, что в 2–3 раза больше такового в восточном шельфе Среднего Каспия.

В глубоководных зонах сезонное изменение числа бактерий грунтов не наблюдается, и оно колеблется в зависимости от глубины залегания от 77 (900 м) до 340 (350 м) млн кл./г.

Сапрофитные бактерии в грунтах Северного Каспия составляют 0,1 (зима) – 1,8 (лето) млн кл./г. В грунтах восточной части их в 2–3 раза меньше такового в западной. Из физиологических групп бактерий свободноживущие азотфикссирующие встречаются в грунтах западной и северо-восточной частей (10–100 тыс. кл./г), а грунты, содержащие детрит, богаты анаэробными клетчаткоразлагающими и метанобразующими, а илистые – сульфатредуцирующими бактериями.

В грунтах Среднего Каспия число сапрофитов изменяется в зависимости от участка в больших диапазонах. В грунтах Сумгайт-Артемских участков они минимальные (60–200 тыс./г) и уступают численности сапрофитов соседних, не подверженных антропогенным воздействиям, в 15–40 раз. За 10–12 лет, подобно общему числу, количество сапрофитов сократилось в зоне глубин 10 м в 3, а в 20-метровой зоне – в 2 раза. Грунт восточной части Среднего Каспия содержит 25–30 тыс./г сапрофитов, что в 20 раз меньше таковых в западной.

Из физиологических групп бактерий в грунтах Среднего Каспия встречаются микроорганизмы, отмеченные в Северном Каспии. Эти бактерии в значительном количестве (10–100 тыс./г) выделяются из грунтов западного шельфа. При этом азотобактер, аэробные клетчаткоразлагающие в большом количестве высеваются из образцов грунта до глубины 50 м, глубже их количество убывает и возрастает численность анаэробных форм бактерий. Грунты глубоководных зон содержат больше этих бактерий, чем зона восточного шельфа, что связано с особенностями грунта, а не с температурой зоны залегания.

Число сапрофитных бактерий в грунтах западного шельфа Южного Каспия составляет 1,1–3,8 млн/г, что является максимальным для всего моря, в осадках восточного шельфа оно не превышает 70–87 тыс./г. Все изучаемые физиологические группы бактерий наиболее интенсивно развиваются в грунтах Южного Каспия. Ими богаты грунты заливов, бухт. В грунтах загрязненных участков число этих бактерий минимальное.

Количество всех видов живых бактерий постепенно снижается с запада на восток и с севера на юг. Развитие сапрофитных и физиологических групп бактерий в грунтах глубоководных впадин аналогично общему числу бактерий. Установлено, что живые клетки бактерий обнаруживаются по всему срезу колонок грунта от 0,01 до 5,75 м длиной и строго зависят от количества органического субстрата в нем и его физических свойств.

Многолетние наблюдения указывают на изменение биологического режима мелководных зон, бухт, заливов и акваторий окружающих островов. Здесь происходит нагул молоди ценных промысловых рыб, изменяется качество воды и ее газовый, солевой режимы под воздействием в основном антропогенных факторов. Кроме того, перемещение продуктивных зон в более глубоководные участки, эвтрофирование супредельных с глубоководными впадинами районов являются тревожными факторами и еще раз вызывают острую необходимость своевременного принятия всесторонних мер для сохранения чистоты Каспия и его бассейна.

Результаты работы важны для оценки состояния экосистемы Каспийского моря, они будут использованы ихтиологами, гидробиологами при прогнозировании рыбных запасов, определении состояния трофики нагульных площадей Каспия. Они необходимы как опорный материал для последующего мониторинга экосистемы Каспийского моря с целью выяснения тенденции ее изменения под влиянием хозяйственной деятельности человека: обмеления, загрязнения, рекреации и т.п.