

МОРСКАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

Обсуждаются перспективы развития морской биотехнологии, интегрирующей экологический и популяционный подходы в создании систем производства полезной продукции и меллиорации среды - важнейших элементов устойчивого развития морехозяйственного комплекса (МХХ).

До недавнего времени основные успехи биоокеанологии были достигнуты в изучении процессов продуцирования органического вещества, распространении и оценке количества сырьевых ресурсов, в решении технических проблем биомониторинга и моделирования экосистемной динамики. В современных условиях исследования, связанные с инвентаризацией флоры и фауны остаются основой, фундаментом любых работ в области морской биологии. Важность этого направления исследований зафиксирована в Конвенции о биологическом разнообразии, подписанной в ходе конференции ООН по окружающей среде в Рио-де-Жанейро в июне 1992 г. В "Заключительном акте" конференции по принятию Конвенции подчеркивается дальнейшая необходимость выявления компонентов биологического разнообразия, имеющих значение для его сохранения и устойчивого использования в качестве ресурса.

В Конвенции проводится четкое различие между терминами «биологические ресурсы» и «биологическое разнообразие». В статье 2 Конвенции «биологическое разнообразие» определено как «вариабельность живых организмов из всех источников, включая, среди прочего, наземные, морские и иные водные экосистемы и экологические комплексы, частью которых они являются; это понятие включает в себя разнообразие в рамках вида, между видами и разнообразие экосистем»; термин «биологические ресурсы» включает «генетические ресурсы, организмы или их части, популяции или любые другие биотические компоненты экосистем, имеющие фактическую или потенциальную полезность или ценность для человечества» [4].

Бессистемная эксплуатация морских биологических ресурсов и загрязнение среды объективно привели к пониманию необходимости смены экстенсивного пути использования естественной способности морей и океанов воспроизводить продукцию и качество среды на интенсивный, основанный на целесообразном стимулировании биогеоэкологических процессов, на развитии морехозяйственных комплексов (МХХ) [2]. Общемировая тенденция развития морского хозяйства в этом направлении отражена в Бангкокской Декларации и Стратегии (FAO, 2000) [7]. Для повышения эффективности использования комплекса морских ресурсов, при безусловном соблюдении природоохранных требований необходимо разработать новые технологии и принципы морского природопользования. Уровень современных знаний об океанологических процессах позволяет перейти к этапу активного внедрения биотехнологий с целью направленного, масштабного и управляемого воспроизводства "биологических ресурсов", "биологического разнообразия", "генетических ресурсов... экосистем, имеющих фактическую или потенциальную полезность или ценность для человечества".

Таким образом, переход к морской биотехнологии в качестве равноправного и потенциально наиболее эффективного компонента в системе функционирования биологического блока МХХ [1] подготовлен всем предыдущим ходом развития океанологии. С различной степенью конкретности принципы ее сформулированы гидробиологами, использующими системный, комплексный подход к изучению механизмов экологических процессов в море (включая марикультуру), особенно в прибрежных акваториях или в контактных зонах, где антропогенное влияние выражено особенно мощно.

Переход к биотехнологии оправдан и рядом методологических соображений:

- Результаты мониторинга позволяют оценивать состояние, тенденции определенных экологических или (в итоге) генетических характеристик видов и популяций. Коррект-

ность интерпретации такой информации весьма высока при рассмотрении систем стабильных (хотя и в разной степени открытых), но снижается с увеличением веса и роли дестабилизирующего антропогенного фактора. Возможность направленно влиять на ситуацию, которая уже сформировалась в результате интенсивного загрязнения или "перевосхода биологических ресурсов", ограничена.

- Исследования механизмов и статистических характеристик, описывающих эволюцию состояний, к которым стремятся сложные системы, включающие, например, экологические и хозяйственные структуры, свидетельствуют о нелинейном характере развития этих макросистем. На определенном этапе процессы их трансформации приобретают необратимый характер, что может быть предотвращено своевременными и адекватными стабилизирующими импульсами.

- Реализация идей интегрированного управления морской средой и ресурсами должна основываться на синтезе знаний и комплексном анализе архивной и текущей информации из различных областей океанологических исследований. Это потребует создания дополнительного понятийного и метрического аппарата. При этом биотехнология предполагает использование не только информации о самоорганизации (сукцессиях) природных систем, но и новых принципов организации, что при коэволюции прибрежных комплексов представляет собой разновидность системной упорядоченности, связанной с целесообразной деятельностью человека, его управляющим (а не потребительским) воздействием на природные процессы. Механизм самоорганизации задается информацией непосредственно, а в случае организации — через посредство человека, аккумулирующего, перерабатывающего и использующего комплексную информацию.

Уточним понятие "биологические ресурсы" в связи с определением задач и возможностей морской биотехнологии. Для пользы обществу, в контексте устойчивого развития регионов, включающих прибрежные акватории, целесообразно переходить на такие критерии и оценки суммарного итога хозяйственной деятельности как качество жизни населения, потребности которого не ограничиваются наличием или отсутствием в пищевом рационе продукции морского происхождения. При современном уровне антропогенной нагрузки отдельных прибрежных территорий в кадастре ресурсов учитываются не только продукты моря, имеющие реальную потребительскую стоимость, но и способность биологических систем поддерживать приемлемый для рекреационных и лечебных зон санитарно-экологический режим, ландшафтный и эстетический облик побережья. В условиях конкурентного природопользования в планировании хозяйственной деятельности, таким образом, не могут быть выделены на уровне абсолютных приоритетов интересы отдельных ведомств — субъектов природопользования. Основа общего благополучия и устойчивого развития — стабильность и максимальная сбалансированность вещественно-энергетического биогеоэкологического процесса.

Технологии производства продукции и воспроизводства качества среды реализуются на уровне экологических систем (биогеоценозов), популяций, отдельных генотипов и селектированных генов. Необходимо разработать критерии оценки объектов и процессов, составляющих основу морской биотехнологии. Обширная база данных о механизмах экологических процессов позволяет выделить реальные составляющие систем, играющих организующую роль в биогеоэкологии конкретного района или крупного морского региона. Как правило, наиболее предсказуемы базовые условия гидрохимических и биотических взаимодействий. Для натурных биотехнологических экспериментов, проводимых в системах, антропогенно измененных, или в зонах развития марикультуры исключительную важность приобретают результаты изучения мезомасштабной циркуляции вод и гидрометеорологических флуктуаций, возникающих за счет местных условий.

Знание особенностей распределения отдельных химических элементов и веществ (в том числе антропогенного происхождения) — основа для поиска биотехнологических механизмов, способных повлиять на процессы мелиорации прибрежных вод. Многообразие и одновременность протекания различных по природе событий и связанных с ними трансформаций в локальной геобиохимической системе усложняют выбор практических мер для обеспечения культивирования гидробионтов с целью деэвтрофи-

кации или повышения рекреационной ценности акваторий. Суммарные показатели гидрохимической характеристики среды – увеличение доли органической компоненты и снижение минеральной – свидетельствуют о положительной роли, например, мидиевой фермы в экосистеме. При этом можно утверждать, что допустимо варьирование степенью технологического влияния путем управления производственными процессами.

Факторы и механизмы, определяющие круговорот веществ и поток энергии в конкретном районе размещения фермы (плантации), в принципе, могут быть классифицированы и ранжированы по степени влияния. Главные из них: физические – разбавление, перенос, осаждение; физико-химические – сорбция, коагуляция, растворение; биотические – окисление, восстановление, усвоение, обмен, экскреция и т. д. Ни на одной стадии биотехнологического цикла невозможно достигнуть оптимального результата, не обратившись к процедуре детального факторного анализа.

Стремление описать структуру сообщества (экосистемы) обобщенными показателями типа «состав и разнообразие» отражает ведущую роль, которую играют в изучении сообществ систематики. Но существуют и другие аспекты разнообразия, не менее или даже более важные для анализа структуры или (тем более) функционирования сообщества. Например, неодинаковая биомасса и численность особей одного вида на различных стадиях жизненного цикла (в меропланктоне и на субстрате), или характеристика сообщества, включающего искусственное звено с точки зрения урожая «на корню» и продукции гетеротрофов. Комплексное описание пищевой сети с определением биомассы на каждом трофическом уровне, а также потоков энергии и вещества из среды или коэволюционирующих систем позволяет выявлять и оценивать особенности их формирования и потенциальную восприимчивость к биотехнологическому воздействию.

Энергетический подход, конечно, не альтернатива таксономическому описанию. Оба направления создают теоретический базис, востребованный биотехнологической методологией. Производственные исследования, как и таксономические, традиционны для Института биологии южных морей НАНУ. Развивая биотехнологию, необходимо уделять больше внимания их взаимопроникновению и взаимодействию.

С точки зрения структуризации исследований по морской биотехнологии представляется возможным выделить два направления работ: 1) экосистемное, ориентированное на изучение совокупности организмов и неживых компонентов, связанных потоками вещества и энергии и 2) популяционное, основанное на анализе особей конкретного вида, населяющих определенную акваторию и характеризующихся единым генофондом.

Важность популяционного направления двоякая. Границы индивидуальной адаптивной возможности особи определяют ее роль в сообществе. Запас скрытой наследственной изменчивости, то есть разнообразие генотипов, стоит за внешне обычными средними фенотипами. Так как точка приложения внешних воздействий, в том числе и антропогенных – популяция, то селективная ценность разнообразия генотипов различна в условиях изменяющейся среды. Некоторые генотипы, менее приспособленные в конкретный момент, могут оказаться более приспособленными в критических для сообщества условиях. Это обеспечивает широкую норму реакций популяций как целостных систем, их успешную адаптацию к разнообразным флуктуациям среды. Пример флуктуирующих частот фенотипов в различных условиях обитания – черноморские *Mytilus galloprovincialis*. Общий пул личинок в меропланктоне поддерживается большой репродуктивной способностью мидии, внешним оплодотворением, разном личинок гидрологическими факторами. Но в различных биотопах селективное преимущество получают особи, располагающие различным набором фенетических признаков. Задача биотехнологии не только использовать широкий спектр генетического полиморфизма вида, но и поддерживать его на уровне, не отличающемся от природного.

Дополнительный потенциал популяционного направления биотехнологии – скрининг видов, популяций, особей как банка генов и признаков, не вовлеченных в технологические процессы, полностью контролируемый и управляемый.

Биотехнология первоначально формулировалась как область интересов преимущественно микробиологов и энзимологов [4]. Благодаря решающим достижениям попу-

ляционной биологии, экотехнологии, молекулярной генетики, особенно способов гибридизации ДНК, генетической модификации организмов, расширились возможности извлечения практически значимых результатов из масштабно организованных промышленных процессов, основанных на самых общих закономерностях биогеоэкологического и эволюционного плана. Возвращаясь к началу статьи, отметим, что «генетическое разнообразие» составляет основу «биологических ресурсов». Сохранение и использование их регламентируется международными соглашениями и рекомендациями [5].

Подчеркивая очевидную необходимость развития биотехнологического подхода к решению региональных экологических проблем, нельзя не отметить (на перспективу) связь работ по созданию морских системно упорядоченных комплексов с глобальными экологическими, экономическими, энергетическими процессами и проблемами.

Биотехнологические принципы могут стать одним из практических инструментов эколого-воспроизводящей промышленности, основанной на формировании специализированных морских хозяйств в прибрежных регионах.

В 2002 г. в Йоханнесбурге (ЮАР) состоится мировой саммит по устойчивому развитию «Рио+10», на котором участники «Рио-92» подведут итоги выполнения задач, определенных «Повесткой дня на XXI век». Нет сомнения, что исследования, направленные на сохранение биоразнообразия, сокращение выброса парниковых газов, энергетической стабилизации, обеспечение населения продуктами питания и медикаментами, в том числе морского происхождения, по-прежнему будут признаны приоритетными.

В соответствии с обозначенными мировыми тенденциями, 22 марта 2001 г. Президентом Украины подписан Закон «Об утверждении общегосударственной программы охраны и возрождения окружающей среды Азовского и Черного морей». В преамбуле указывается, что программа направлена на обеспечение Конвенции о защите Черного моря от загрязнения (1994) и Стратегического плана действий по возрождению и защите Черного моря (1996). Катастрофическое состояние вод Черного моря и его ресурсов общеизвестно. Оно сформировалось не одномоментно. Тревожные симптомы процессов деградации отдельных экосистем зафиксированы в десятках монографий и сотнях статей различных авторов, в том числе и ИнБЮМ НАНУ. Сложилось специальное направление исследований «Изучение океанографических и гидрохимических факторов, определяющих перенос, перемешивание и трансформацию полей загрязненных вод в море, моделирование процессов самоочищения моря от загрязнения» [6]. В рамках исследований по этому направлению существенно пополнилась база данных о динамике прибрежных вод, их химического состава, разработаны теоретические основы рационального удаления сточных вод в море. По рекомендациям сотрудников ИнБЮМ представлены экологические обоснования и основные параметры морских глубоководных выпусков для различных районов Черного моря (Ялта, Севастополь, Симеиз, Пицунда – Гагра, Сочи, Сухуми, Батуми). Многие проекты реализованы, в том числе в Севастополе.

В то же время, результаты изучения влияния физико-океанографических, гидрохимических и гидробиологических факторов на процессы переноса, перемешивания и трансформации загрязненных вод, анализ механизмов и характеристик самоочищения и ассимиляционной ёмкости морской среды являются хорошей океанологической предпосылкой развития новой для Черного моря отрасли морского хозяйства – марикультуры. На Украине в этой области отсутствует эмпирический опыт в отличие от ряда стран, где морская аквакультура – доходная часть прибрежного фермерства. Разработка научных основ марикультуры и их практическая реализация (включая адаптацию опыта Италии, Франции, Испании и других стран) для ИнБЮМ и других учреждений морского профиля – социальный, государственный заказ на ближайшее будущее.

За период становления данного научного направления в институте сформировались определенные концептуальные принципы, методология исследований и практической организации прикладных работ биотехнологического профиля. Прежде всего, это не только и не столько утилитарные бионормативы культивирования отдельных видов, а комплексные исследования функционирования экосистем с встроенными и адаптированными к естественному ходу биогеоэкологических процессов морскими хозяйствами.

Созданные ранее и эксплуатируемая в настоящее время мидийно-устричная ферма с годовым оборотом биомассы около 50 т используются как полигон изучения экологических взаимодействий, с одной стороны, и как пилотный эколого-экономический комплекс, с другой. Мидиевое хозяйство в современных экологических условиях – не ферма по содержанию монокультуры, а система с определенными возможностями управления естественными сукцессиями в сообществе обрастания при конкретных океанологических и гидрохимических условиях [3].

Основные объекты культивирования в настоящее время – *Mytilus galloprovincialis*, *Ostrea edulis*, *Obelia longissima*, *Obelia angulata*, *Botryllus schlosseri* (последние три – для извлечения из них БАВ). Черноморские устрицы занесены в Красную книгу Украины. Выращивание их на ферме будет способствовать восстановлению численности устриц в Черном море.

По нашему мнению, культивирование любых объектов марикультуры должно проводиться с обязательной оценкой селективной ценности отдельных фено- и геновариаций. Показана возможность массового получения у моллюсков триплоидных особей, что в лабораторных условиях реализовано и на черноморских объектах марикультуры.

К области биотехнологии относится и широкий спектр работ по культивированию морских организмов в системах замкнутого цикла. Это, прежде всего, производство посадочного материала для последующего пастбищного выращивания, молоди селективируемых линий, кормовых объектов для личинок рыб, моллюсков, ракообразных.

Особый класс работ – получение биомассы микроводорослей для извлечения из них БАВ, производства пищевых или кормовых добавок. Следует отметить, что получение и переработка биомассы в реакторах, культиваторах, ферментерах широко используется в промышленных масштабах. Именно данное направление работ дало толчок развитию классической биотехнологии.

Таким образом, морская биотехнология – новый раздел современной биоокеанологии, мобилизующий на основе междисциплинарных исследований высокие технологии для решения взаимосвязанных проблем экологии и производства полезной продукции в современных критических условиях состояния морской среды обитания.

1. Гольдберг Г.А., Зац В.И., Ациховская Ж.М. и др. Моделирование процессов самоочищения вод шельфовой зоны моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 230 с.
2. Еремеев В.Н., Щипцов А.А. и др. Научный комментарий Национальной программы исследований и использования ресурсов Азово-Черноморского бассейна, других районов Мирового океана на период до 2001 г. – Керчь: Изд. Центр "ПівденНИРО", 1994. – С. 3-8.
3. Иванов В.Н., Холодов В.И., Сеничева М.И. и др. Биология культивируемых мидий. – Киев: Наукова думка, 1989. – 100 с.
4. Руководящие принципы исследований по странам в области биологического разнообразия // Программа ООН по окружающей среде, Найроби, Кения. – 1993. – С. 150.
5. Сассон А. Биотехнология: свершения и надежды. – М.: Мир, 1987. – 411 с.
6. Сохранение и использование генетических ресурсов / Импакт № 2. – М., 1991. – С. 46.
7. Aquaculture Development Beyond 2000: The Bangkok Declaration and Strategy // Conference on Aquaculture in the Third Millenium (20-25 February 2000. Bangkok, Thailand). – NACA, Bangkok and FAO, Rome, 2000. – P. 27.

Институт биологии южных морей НАН Украины,
г. Севастополь

Получено 25.08.2001

V.N. YEREMEYEV, V.N. IVANOV

MARINE BIOTECHNOLOGY

Summary

The opportunities of becoming and development of marine biotechnology are discussed. It integrates the ecological and population approaches in building of systems of beneficial production and environment melioration, in building of elements of steady development of marine economical complex (MEC).