

Методы биоиндикации качества морской среды

А.Н. Тюрин

Дальневосточный морской биосферный заповедник ДВО РАН

Владивосток 690041, ул. Пальчевского, 17

E-mail: antyurin.mr@gmail.com

Рассмотрены методы оценки качества морской среды, в частности, регистрация оседания личинок некоторых видов беспозвоночных на искусственные субстраты (коллекторы). Появление молодых особей свидетельствует о высоком качестве воды и грунтов, поскольку личинки беспозвоночных могут жить только в чистой воде и осесть только на чистый субстрат. Биоиндикация качества морской акватории по ювенильным особям и по анализу возрастного состава популяций является экспрессной и комплексной.

Ключевые слова: мониторинг, загрязнение, среда, заповедник.

The methods of bioindication of the marine environment quality

A.N. Tyurin

Far Eastern Marine Biosphere Reserve FEB RAS,

Palchevsky Street, 17, Vladivostok, 690041

E-mail: antyurin.mr@gmail.com

Methods for assessing the quality of the marine environment, in particular, an analysis of macrobenthos species larval settlement in reservoirs. The emergence of young animals indicates the high quality of the environment: water and soil, as the embryos and larvae of invertebrates can survive in clean water and settle down only after you have selected a suitable and clean substrate for settling. Thus, bioindication quality marine waters by juveniles, similarly, on the analysis of age structure of populations is rapid, and comprehensive method of indicating the quality of the environment.

Key words: monitoring, pollution, environment, Nature Reserve.

В 1956 г. к берегу рыбацкого городка Минамата (остров Кюсю, Япония) стали приплывать крупные рыбы, которые давали ловить себя руками, кошки странно "танцевали", вороны и чайки падали с неба и разбивались. Вскоре жителей Минамата поразила страшная болезнь: они теряли речь, слух и координацию движений, мышц рук и ног немели, людей поражало безумие, многие умирали, выжившие инвалиды подвергались дискриминации. Болезнь назвали "болезнью Минимата". Было выяснено, что она вызвана рыбой и другой пищей из моря, ставшей ядовитой из-за накопления

метилртути, попадавшей в море со сточными водами заводов компании «Chisso». Это был первый в истории случай отравления людей из-за загрязнения открытого моря¹.

Охрана биологических ресурсов Мирового океана и здоровья человека в середине XX-го века стала проблемой международной, так как всё "прогрессивное" человечество перестало справляться с утилизацией, уничтожением и захоронением отходов своего быта и труда² и начало сбрасывать и сливать их в моря, общие для разных стран. Морские течения разносили загрязнённые воды по единому для всех Мировому океану, и они попадали в соседние и дальние страны. Поэтому Комитет по проблемам окружающей среды ООН разработал в 1971 г. Систему глобального контроля, оценки и прогноза состояния среды (глобального мониторинга).

Первые службы контроля состава прибрежных вод химико-физическими методами столкнулись со многими проблемами: технологии сложные, приборы дорогие, измерения длительные, нет датчиков для всего миллиона веществ, созданных человеком, поэтому многие ядовитые вещества не регистрируются и т.д..

Главное, химико-физические методы анализа состава морской воды не давали ответа на основной вопрос глобального мониторинга: "Есть ли опасность примесей в воде для живых организмов?", – не говоря уже об экосистеме Мирового океана.

Службы мониторинга столкнулись также с проблемой "самоочищения вод": тяжёлые и радиоактивные металлы³, приносимые течениями, осадками, стоками и апвеллингами, хорошо обнаруживались ионселективными мембранными датчиками, но стремительно (менее чем за 12 ч) "исчезали".

¹ В 1976 г. жители острова Цусима заболели болезнью "итай-итай", вызванной отравлением кадмием. Заметим, известно, что вихри течений Японского моря доносят воды из Цусимского пролива до мыса Гамова в заливе Петра Великого.

² В окружающую среду ежегодно выбрасывается более 100 миллиардов тонн отходов (более 1 миллиона типов разнообразных химических веществ), значительная часть которых попадает в моря и океаны.

³ Тяжёлые и радиоактивные металлы (точнее, их ионы) – целевые группы элементов при поиске и анализе загрязнений.

Владельцы предприятий предпочитали строительству дорогих очистных сооружений финансирование более дешёвых научных подтверждений теории самоочищения океана. Оппоненты "самоочищения" напоминали о законе сохранения вещества, но их не слышали. Они всё-таки доказали, что тяжёлые металлы никуда из моря не исчезали, а связывались гигантской фрактальной поверхностью массы планктонных организмов, поверхностью, обладающей, как все поверхности, природной способностью к сорбции⁴.

Неудача с идеей химико-физического мониторинга среды стала предпосылкой сближения идеологов мониторинга с представителями наук о жизни: биологами, экологами, биохимиками, генетиками. Совместные работы быстро выявили преимущества живых организмов перед приборами и химическим анализом [12]. На стыке биологии, экотоксикологии и мониторинга образовалось новое научно-практическое направление – биомониторинг – слежка с помощью организмов.

Биомониторинг поначалу, как многие научно-практические направления, базировался на регистрации очевидных параметров: жизни животных в чистой воде и смерти от загрязнения, состав которого определяли химики⁵.

Индикация качества среды по организмам-накопителям

Первым шагом в поиске живых индикаторов загрязнения морской среды стало внимание к организмам, питающимся планктоном. Оказалось, что при постоянном сбросе соединений металлов, фенолов и других ядовитых отходов моллюски-фильтраторы накапливали их в раковинах и тканях до концентраций, превышавших фоновые в десятки, сотни и тысячи раз. Такие количества легко определялись.

⁴ Факты появления и исчезновения ядовитых примесей в морской воде и грунтах наглядно подтверждали философские постулаты древнегреческого мудреца Гераклита Эфесского о постоянной изменчивости мира: "Нельзя войти в одну и ту же реку дважды и нельзя тронуть дважды нечто смертное в том же состоянии, по причине неустойчивости и быстроты изменения, всё рассеивается и собирается, приходит и уходит. Всё течёт, всё меняется".

"Самоочищение" морской воды необходимо и можно учитывать при проведении токсикологических опытов с морскими организмами [9].

⁵ Для мониторинга биоты в море проводились тотальные отловы, в которых с удовольствием от получаемой материальной выгоды участвовали и промысловики, и учёные.

Индикация качества среды по смерти животных

Живые индикаторы показали, в частности, опасность для биоты синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ). СПАВ были созданы в середине XX-го века и успешно применялись для ликвидации загрязнений океана нефтью, которая под действием СПАВ растворялась и не загрязняла побережье. Однако "чистое" море делалось безжизненным. Лабораторные опыты по действию СПАВ на морские организмы показали, что СПАВ – это новые биоциды, повреждающие икру и жабры рыб и обращающие их в бегство, убивающие мелких и прикрепленных животных, растворяющие личинок заживо⁶.

Индикация качества среды по поведению животных

Живые датчики реагировали на токсиканты в среде не только гибелью, но и изоляцией, учащением сердцебиения и дыхания, увеличением органов, паникой, бегством, и.т.д.. Реакции биодатчиков регистрировались инструментально, и преобразовывались в сигналы тревоги. Животные не определяли формулу загрязнения⁷, но зато однозначно оповещали о появлении в воде ксенобиотиков. "Живое вещество" давало шанс найти источник отравы и закрыть его до экологической катастрофы в море – гибели всего живого.

Датчики, реагировавшие на загрязнение среды каким-либо движением получили наибольшее распространение [8; 12]. Некоторые из них прошли государственные испытания и сертификацию и действуют в системах контроля качества воды в некоторых странах Тихого океана [14].

Учёные разных стран стремились для снижения нагрузки на биоту обосновать необходимость уменьшения разрешённых законами своих стран предельно-допустимых концентраций веществ в среде (ПДК) и для этого пытались найти морских животных, которые показали бы вредность ПДК, но это сделать не удалось. ПДК разных стран, близкие по порядку величины, оказались достаточно низкими [12].

⁶ Когда волонтёры с добрыми намерениями отмывают от нефти СПАВами перья птиц, попавших в нефть, это только усугубляет и продлевает мучения несчастных пернатых.

К сожалению, СПАВ – основной компонент шампуней и моющих средств для посуды.

⁷ Состав загрязнения можно было выяснить в лаборатории или узнать у найденного "по горячим следам" виновника сброса в воду ядовитых веществ.

Индикация качества среды по эмбрионам *in vitro*

Японский учёный Кобаяши Наомаса [13] изучал действие токсикантов на эмбриональное и личиночное развитие морских ежей и первым существенно увеличил чувствительность биодатчиков⁸. К сожалению, яйцеклетки морских ежей пригодны для опытов не более двух недель в году, когда они созревают для нереста. Поэтому этот самый быстрый (1-2 мин) и весьма чувствительный метод токсикологии для биомониторинга не годится, для которого к тому же нужен датчик непрерывного действия, живущий в естественной среде, а не в лаборатории⁹.

Индикация качества среды по оседанию личинок *in vitro*

При поиске ещё более чувствительного тест-организма мы воспользовались известным постулатом чл.-корр. АМН СССР Павла Григорьевича Светлова [5]: "В эмбриогенезе, в моменты дифференциации клеток организмы наиболее реактивны к внешним воздействиям". Мы развили аксиому Светлова: "Реакцию тест-организма на меньшую дозу ксенобиотика, можно получить, если меньшая доза будет действовать на все уязвимые стадии развития организма: от выхода яйцеклетки до превращения личинки в ювенильную особь. Интегральная реакция может проявиться на любой стадии развития. Чем меньше доза, тем отдалённой эффект".

Для проверки нашей гипотезы мы взяли массовый вид – панцирного моллюска *Ischnochiton hakodadensis*¹⁰. При действии ксенобиотиков в концентрациях, допустимых в РФ, личинки *I. hakodadensis* развивались неотличимо от контроля, но в положенный срок (через 96 ч) не оседали, позже гибли. Развитие успешно завершалось оседанием только при снижении доз ксенобиотиков в десятки раз! Наш хитон-тест до сих пор остаётся одним из лидеров чувствительности [6; 7; 10; 15].

⁸ Под большей чувствительностью датчика понимают его реакцию на меньшую дозу препарата.

⁹ Для удобства отличия организмов-индикаторов, живущих длительно в естественной среде, от организмов-индикаторов, подопытных в лабораторных токсикологических опытах продолжительностью до 4-х суток, последние названы "тест-организмами" ("биотестами").

Кроме тестов с яйцеклетками и личинками морских ежей, перспективен аналогичный тест с использованием предличинок рыб [11].

¹⁰ Массовый в заливе Петра Великого и в Японском море вид *Ischnochiton hakodadensis* используется в Японии, как индикатор пригодности акваторий для высева на грунт молоди приморского гребешка для выращивания. Период развития *I. hakodadensis* от оплодотворения яйцеклетки до превращения личинки в ювенильную особь удивительно совпадает с классической длительностью тестов в токсикологии – 96 часов.

Индикация качества среды по биоразнообразию

В 1992 в Рио-де-Жанейро, на "Конференции ООН по окружающей среде и развитию" цивилизованный мир публично признал, что для существования биосферы Земли и преобразующего её человека нужны все звенья биосферы: и автотрофы, и гетеротрофы, и деструкторы, и вода, и геоценозы.

145 стран подписали на Конференции "Конвенцию о сохранении и восстановлении компонентов биологического разнообразия". Предполагалось, что очагами исполнения станут особо охраняемые природные территории мира.

Для заповедников России это было косвенным одобрением программы их деятельности с 1917 г., созвучной идеям Конвенции ООН 1992 г., программы включающей, как основную, научную часть: "Периодическая инвентаризация биологического разнообразия, слежение за динамикой массовых видов флоры и фауны и редких видов, занесённых в "Красные книги" и охранную часть – "Охрана среды и биоты".

Индикация качества среды по оседанию личинок *in situ*

Оседание личинок беспозвоночных на субстрат индицирует здоровье и нормальный нерест родительских особей, нормальное пелагическое развитие личинок, долгую чистоту и воды, и грунтов [2; 4; 6; 7; 10; 15; настоящая работа, стр. 156, "Индикация качества среды по оседанию личинок..."].

В дальневосточных морях для мониторинга качества среды по биоиндикатору "Оседание личинок в естественной среде" (ОЛЕС) наиболее привлекательны двустворчатые моллюски *Mytilus trossulus* и *Mizuhopecten yessoensis*. Эти виды массовые, хорошо изученные, их давно выращивают на плантациях марикультуры, поэтому опыт фермеров-практиков поможет технической организации биомониторинга. Эти виды априори высокочувствительны, так как после оплодотворения яйцеклеток миллионы беззащитных личинок около месяца плавают и развиваются до ювенильной особи, при оседании их плавательные паруса редуцируются [2; 3].

Для круглогодичной индикация чистоты среды по биоиндикатору ОЛЕС необходимо выставлять в море субстраты еженедельно и регистрировать оседание личинок разных видов.

Биоиндикация по возрастному составу популяций *in situ*

Весь спектр возрастов в природной популяции любого вида малоподвижных или прикрепленных беспозвоночных является индикатором того, что вода, и грунты длительно чисты, именно поэтому взрослые особи ежегодно нерестились, а личинки оседали, не было и массовой гибели животных [2; 4; 6; 10; 15].

В дальневосточных морях для такого ретроспективного анализа качества среды подходят массовые и хорошо изученные виды беспозвоночных из семейств Strongylocentrotidae, Littorinidae, Lotiidae, Mytilidae, Pectinidae и Balanidae.

Побочные эффекты биоиндикации по оседанию личинок

1) Вполне возможно, что среди личинок, осевших на мониторинговые субстраты, будут новые для заповедника виды, личинки которых раньше в разное время года проносились течениями мимо, так как не находили свободных субстратов для оседания; новые виды пополняют каталог биоты заповедника, однако прежде, чем вселить их в заповедник, необходимо оценить опасность инвазии [1].

2) Ювенильных особей *M. trossulus* и *M. yessoensis*, осевших на мониторинговые субстраты, можно вырастить, используя опыт практиков марикультуры, а затем пополнить естественные популяции, "высеяв" их в заповеднике и в охранной зоне.

Выводы и рекомендации

В заповедниках актуальны щадящие биоту методы биомониторинга качества морских акваторий, среди них:

1) предоставление пелагическим личинкам беспозвоночных дополнительных, искусственных субстратов; факт оседания личинок на эти мониторинговые субстраты круглогодично индицирует долговременную чистоту среды;

2) изучение возрастного состава популяций массовых видов беспозвоночных без отлова, по их размерам на фотографиях и видеозаписях; очевидно, что полный спектр возрастного состава индицирует долговременную чистоту среды; погрешность определения возраста по размерам не влияет на оценку качества среды.

Литература

1. Звягинцев А.Ю. Морское обрастание в северо-западной части Тихого океана. Владивосток: Дальнаука. 2005. 432 с.
2. Касьянов В.Л. Репродуктивная стратегия морских двустворчатых моллюсков и иглокожих. Л. : Наука, 1989. 180 с.
3. Куликова В.А., Колотухина Н.К. Пелагические личинки двустворчатых моллюсков Японского моря : методы, морфология, идентификация : Препр. № 21. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. 60 с.
4. Пашенко С.В., Тюрин А.Н. Действие меди на половозрелых особей хитона *Ischnochiton hakodadensis* в преднерестовый период // Биол. моря. 1997. Т. 23, № 2. С. 103-105.
5. Светлов П.Г. Теория критических периодов развития и ее значение для понимания принципов действия среды на онтогенез // Вопросы цитол. и общ. физиол. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1960. С. 263-285.
6. Тюрин А.Н. Проблемы мониторинга в заповеднике // Дальневосточный морской биосферный заповедник. Исследования / отв. ред. А.Н. Тюрин. Владивосток : Дальнаука, 2004. Т. 1. С. 688-690.
7. Тюрин А.Н. Метаморфоз хитона *Ischnochiton hakodadensis*, как биотест загрязнения морской среды // Биол. моря. 1994. Т. 20, № 1. С. 68-72.
8. Тюрин А.Н. Поведенческие реакции приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* и мидии Грея *Crenomytilus grayanus* на понижение солености, содержания кислорода и действие синтетических детергентов // Зоол. журн. 1990. Т. 69, № 10. С. 31-37.
9. Тюрин А.Н., Примак Т.Л., Перепелятников Л.В., Власов А.В. Методическая особенность токсикологических опытов в морской среде // Биол. моря. 1994. Т. 20, № 4. С. 317-319.
10. Тюрин А.Н., Христофорова Н.К. Выбор тестов для оценки загрязнения морской среды // Биол. моря. 1995. Т. 21, № 6. С. 361-368.
11. Черкашин С.А., Никифоров М.В., Шелехов В.А. Использование показателей смертности предличинок морских рыб для оценки токсичности цинка и свинца // Биол. моря. 2004. Т. 30, № 3. С. 247-252.
12. Kinne O. 14-th European Marine Biology Symposium "Protection of the Life in the Sea". Summary of Symposium. Papers and Conclusions // Helgolander Meeresunter. 1980. Vol. 33. P. 733-761.
13. Kobayashi N. Comparative Sensitivity of Various Developmental Stages of Sea Urchin to Some Chemicals // Mar. Biol. 1980. No. 58. P. 163-171.
14. Tanbe S. & Subramanian A. Bioindicators of POPs: Monitoring in Developing Countries. Kyoto, Japan : Kyoto University Press ; Australia : Trans Pacific Press, 2006. 190 p.
15. Tyurin A.N. Choice of biotests and bioindicators for evaluation of the quality of the marine environment // Int. J. Environ. and Pollut. 2000. Vol. 13, No. 1/6. P. 45-55.