

САНИТАРНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ АКВАТОРИИ КОНТАКТНОЙ ЗОНЫ "СУША-МОРЕ"

Обсуждаются процессы преобразования загрязняющих веществ в акватории контактной зоны "суша - море" на примере стока с суши (ливневые стоки) и принесенной с моря пелагической смолы.

Более 30 лет назад [5] была сформулирована научная концепция исследований морской санитарной гидробиологии, которая включила изучение взаимодействия морских организмов и их сообществ с загрязнением как части биосферного процесса трансформации вещества и передачи энергии.

Попадающие в морскую среду загрязнения вступают в сложные взаимодействия с биотой. С одной стороны, загрязнение отрицательно влияет на морские организмы и их сообщества, а с другой, гидробионты преобразуют их, разрушая до простых соединений, участвуя, таким образом, в процессе самоочищения и формирования качества морской воды. Познание роли морской биоты в этом процессе открывает пути целенаправленного использования морских организмов и их сообществ в биомониторинге и в борьбе с загрязнением, в частности, при разработке гидробиологических систем очистки загрязненных морских вод и санации (оздоровления) акваторий [8, 14].

Наряду с большими экспериментальными работами по изучению влияния органических соединений, включая нефть и нефтепродукты, на морские организмы [11, 12], велись наблюдения за бентосными сообществами в естественных условиях. Это позволило установить зависимость между накоплением в донных осадках хлороформрастворимых веществ и трофической структурой, видовым разнообразием и численностью организмов бентосных сообществ [21]. Изучение закономерности распространения, численности и биохимических особенностей бактерий, способных использовать углеводороды в качестве единственного источника углерода и энергии [7], было начато в Севастопольской бухте Черного моря, а затем распространились на Мировой океан, позволив реализовать пятилетнюю (1975 - 1980) международную программу по биоиндикации нефтяного загрязнения в морях Средиземноморского бассейна [9, 16]. Отметим, что подобные работы явились новым направлением в морской микробиологии.

Были разработаны, сконструированы и установлены на Черном море в районах Новороссийска, Севастополя и Созополя (Болгария) различные варианты систем гидробиологической санации морских акваторий, рассчитана необходимая мощность гидробиологических систем для оздоровления акватории Большой Ялты и Сакско-Евпаторийского районов [17].

Начиная с 90-х годов, основной объем санитарно-биологических исследований переместился в прибрежную зону, акватория которой входит в контактную зону "суша - море". К этой зоне мы относим береговую полосу, ограниченную дальностью проникновения штормовых волн на сушу, и прибрежную акваторию от уреза воды до глубин 1,5 - 2 м. Ограничение береговой полосы районом действия штормовых волн (нагонов) мы объясняем тем, что в период этих природных явлений происходит значительный унос в море загрязнений органического характера, накопившихся на берегу, а также выброс на берег нефти, в частности пелагической смолы. Ограничение прибрежной акватории глубинами 1,5 - 2 м обусловлено своеобразием условий обитания здесь биоты, наиболее интенсивным контактом людей с морем и тем, что здесь сталкиваются потоки загрязняющих веществ, идущих как с суши, так и со стороны моря. Особенно уязвима эта зона при аварийных ситуациях, в частности при повреждении танкеров и разрывах городских канализационных систем.

Понимая всю условность такого деления, отметим все же, что в масштабе Украины эта зона составляет многие сотни километров прибрежной акватории.

Некоторые аспекты антропогенного воздействия на прибрежную зону моря со стороны суши довольно подробно освещены в литературе. В частности, проведена

оценка влияния антропогенных факторов суши на состояние морской среды на основе логико-информационных моделей [2]. Эти вопросы были предметом обсуждения специальной международной конференции по линии "Advisory Committee on Protection on the Sea" в 1992 г. в Севастополе [15].

Однако некоторые аспекты этой проблемы требуют существенного изучения. Так, ограничены сведения о влиянии на санитарно-биологическое состояние прибрежных морских вод ливневых стоков, которые по содержанию в них различных загрязняющих веществ, в частности нефтяных углеводородов, могут быть сравнимы со сточными водами. Последнее можно проиллюстрировать следующими данными, полученными в районе сброса ливневых стоков в районе Севастополя в б. Круглая [15]. Отбор проб осуществлялся после выпадения осадков. В состав стоков входили смывы с района городской застройки и дачных участков, прилегающих к бухте. Ниже приводится средний состав стоков по ряду химических показателей (табл. 1).

Таблица 1 Средний состав растворенного (РОВ) и взвешенного органического вещества (ВОВ) в ливневых стоках, мг/л

Table 1 Middle content of soluble and suspended organic matter in the rain wastes, mg/l

Фракции органических веществ	Белковоподобные соединения (БПС)	Углеводоподобные соединения (УПС)	Липиды (Л)	Углеводы (УВ)
РОВ	29,2–89,8 *	15,7–47,5	4,9–7,6	1,9–3,8
	57,1	31,3	6,1	2,8
ВОВ	3,7–9,6	2,5–5,0	6,3–21,0	14,8–48,7
	6,9	3,6	15,3	30,3

* - в числителе – пределы колебания показателя; в знаменателе – среднее значение

Представленные материалы свидетельствуют о высоком варьировании количественных показателей отдельных составляющих РОВ и большом содержании в них нефтяных углеводородов, в десятки раз превышающих предельно-допустимые концентрации (ПДК) для морской воды. Кроме того, обращает на себя внимание высокое содержание РОВ в стоках, что на 1–2 порядка выше, чем обычно наблюдается в морской воде прибрежных районов. В углеводно-белковом комплексе (УБК) доминируют БПС, что также необычно для морской воды, где чаще преобладают УПС, обычно составляющие до 80–90 % от всего растворенного органического вещества (БПС, как правило, составляют не менее 5 % от РОВ). Иным был состав органического вещества (ОВ) во взвеси: здесь преобладал липидно-углеводородный комплекс, составляя 77,5–83,9 % от ВОВ. Доля УВ в нем лежала в диапазоне 32,9–48,7 % при концентрациях от 14,8 до 37,9 мг/л, что на порядок выше, чем РОВ.

Микробное число в ливневых стоках находилось в пределах 650–5100. Отметим, что анализ ливневых стоков из другого района города Севастополя дал сравнимые результаты - 950–14600. Среди гетеротрофных микроорганизмов находились нефтеокисляющие группы. При этом их рост фиксировался как на минеральной среде, так и непосредственно в стоках при добавлении нефти.

Ливневые стоки, протекая через территорию пляжа до достижения уреза воды, могут, с одной стороны, оставить часть загрязнения на пляже, включая их последующую фильтрацию в глубже лежащие слои, а с другой – смыть накопленные ранее на пляже загрязняющие вещества в море.

Помимо органических веществ, с ливневыми стоками в море поступает значительное количество терригенного материала в виде взвеси, который распространяется с пресными водами по поверхности моря, а затем выпадает на дно, являясь дополнительным фактором загрязнения донных осадков мелководья. Эксперименты, проведенные с ливневыми стоками, выпадающими в б. Круглая, показали, что основная масса взвешенных веществ из них осаждается в первые часы [15]. Аналогичные результаты были получены в экспериментах с донными осадками, взятыми в б. Круглой [22].

О судьбе нефти в прибрежной зоне известно в основном по данным описания аварийных ситуаций, в которых время наблюдений было довольно ограниченным. До-

полнительную информацию могут дать экспериментальные наблюдения [10, 18] по разложению нефтяных остатков (пелагической смолы) (табл. 2). Следует отметить, что находящаяся во внешней среде нефть трансформируется и превращается в так называемую пелагическую смолу, или нефтяные остатки. При этом они могут образовываться не только на берегу после аварийного разлива нефти, но и приноситься из районов открытого моря в результате сброса с судов нефтесодержащих вод.

Таблица 2 Изменение группового состава нефтяных остатков в воде и на берегу, %
Table 2 Change of oil residues group content in water and beach, %

Время, сут.	Масла		Смолы		Асфальтены	
	вода	берег	вода	берег	вода	берег
Исходное	43,5	43,5	22,0	22,0	34,5	34,5
30	54,5	49,75	26,5	19,4	19,0	30,9
60	53,5	32,2	31,7	33,4	14,8	34,4
90	57,8	26,5	28,6	33,8	13,8	39,7
120	53,0	32,3	20,7	22,7	26,3	45,0
180	46,4	30,2	19,9	21,9	33,4	47,9
240	33,6	29,1	22,7	22,9	43,7	48,0
300	32,6	25,5	23,7	25,6	43,7	48,92
365	30,8	23,1	25,4	28,1	43,8	48,8

Как видно из данных табл. 2, в ходе эксперимента наблюдается ускоренное уменьшение масляной фракции и возрастание доли смолисто-асфальтеновых соединений, при этом прослеживаются две фазы. В первой, продолжительностью 60 – 90 суток, в групповом составе нефтяных остатков в море наблюдалось увеличение масел и смол в 1,3 раза, соответственно доля асфальтенов уменьшилась в 2,5 раза. После 60 – 90 суток отмечался обратный процесс: постепенное уменьшение масляной фракции, причем вначале резкое, а затем возрастание количества смолистых веществ и доли асфальтенов. При этом, по сравнению с исходным образцом, через год количество масел уменьшилось на 30 %, содержание смол и асфальтенов возросло соответственно на 11,5 и 12,6 %.

Во фракции н-парафинов, включая изопренановый ряд, изменения по данным газо-жидкостной хроматографии оказались следующими. К 120-м суткам опыта, когда количество масляной фракции начало уменьшаться, на хроматограмме отмечается резкое снижение концентрации н-алканов, изопренановый ряд парафинов состоял только из трех углеводородов - C₁₈, C₁₉, C₂₀. На хроматограммах, соответствующих 180-м и 240-м суткам, прослеживаются только следы углеводородов. Показателями биохимического окисления нефтяных остатков являются отношения пристана к гептадекану, фитана к октадекану или суммы пристана и фитана к сумме гепта- и октадекана. В окисленных нефтяных остатках указанные соотношения резко возрастают, что указывает на активную деятельность морских микроорганизмов. Последняя подтверждается данными биологического анализа.

Результаты микробиологических исследований нефтяных остатков показывают, что в первые три месяца из проб выделялись бактерии родов *Bacterium*, *Pseudobacterium*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Vibrio*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*. В последующем удавалось выделить бактерии только рода *Pseudomonas*. Наблюдалось развитие плесневых грибов, которые раньше поселялись на нефтяных остатках, находящихся на берегу.

Наряду с бактериями на нефтяных остатках поселялись инфузории, относящиеся к родам *Holotricha*, *Microregma*, *Dysteria*, *Ziotonus*, *Euplotes*, *Vorticella*, *Amphileptidae*. Заселение нефтяных остатков простейшими происходило аналогично с таковыми свежих нефтяных пролитий. На 30-е сутки эксперимента были отмечены нематоды, численность которых впоследствии возрастала. К третьему месяцу развились плесневые грибы и появились полихеты.

Несколько иначе шло развитие жизни на нефтяных остатках на берегу. Так, плесневые грибы обнаруживались на 30-е сутки, т.е. значительно раньше, чем в морской воде. В этот же период между нефтяным остатком и каменистой поверхностью появи-

лись полихеты и нематоды. Простейшие были представлены в большом количестве, и в течение всего опыта отмечалось значительное разнообразие инфузорий.

Через 30 суток после начала опыта с поверхности нефтяного вещества, нанесенного на камень, было выделено 7 культур нефтеокисляющих бактерий (из них 5 видов кокковидных и 3 культуры палочковидных), отнесенных к родам *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Bacterium*. В дальнейшем микробиологическая характеристика нефтяных остатков на каменистой поверхности не отличалась от той, которая была получена в опыте с тем же нефтяным остатком, находившемся в морской воде, т.е. к 120-м суткам эксперимента, и до конца опыта высевались нефтеокисляющие бактерии рода *Pseudomonas*. К этому же времени поверхность нефти потрескалась, образовались чешуйки, к концу опыта часть ее отвалилась, распавшись на более мелкие кусочки.

В химическом составе нефтяных остатков в первые два месяца наблюдалось незначительное увеличение масляной фракции. Однако, спустя год от начала эксперимента, масляная фракция уменьшилась на 46,3 %, содержание смол возросло на 12,7 %, асфальтенов - на 14,1 %. Таким образом, за тот же период времени нефтяные остатки, находящиеся в условиях супралиторальной зоны, подверглись несколько большему разложению, чем в морской воде. Интересно также отметить, что осмоление образцов шло за счет возрастания спиртобензольных смол, количество которых увеличилось более чем в два раза - с 4,9 до 10,3 %. Отмечается более раннее (на 180-е сутки после начала опыта) исчезновение как нормальных парафинов, так и разветвленных алканов.

Таким образом, нефтяной остаток на берегу претерпел более значительные химические изменения, по сравнению с нефтяным остатком, который находился в толще морской воды.

Однако, попавшие на берег нефтяные остатки могут быть вновь смыты в море. Собранные на побережье образцы пелагической смолы, пролежавшие там неопределенно долгое время, были помещены в проточный аквариум при температуре морской воды 17 – 22° С на 70 суток. За это время наблюдалось уменьшение масляной фракции на 15 %, практически исчезли парафины $C_{12} - C_{15}$ и произошло уменьшение в несколько раз соединений $C_{16} - C_{26}$. Следует отметить уменьшение серы в бензольных смолах в 4,5 раза, а в спиртобензольных смолах на 20 %. Пока трудно объяснить этот факт, но, возможно, здесь принимали участие бактерии рода *Thiobacillus*, которые участвуют в преобразовании соединений серы.

К упомянутым выше источникам загрязнения прибрежных вод присоединяется поток загрязняющих веществ из донных осадков [19, 20]. При этом можно ожидать, что аллохтонная микрофлора вместе с взвесью попадает в донные осадки, и какое-то время остается там жизнеспособной. На это указывают микробиологические показатели морской воды, отобранной в штилевую погоду и во время прилива. Так, при штилевой погоде коли-титр составлял $0,21 \pm 0,01$, микробное число 290 ± 62 , во время прилива эти показатели составили $0,005 \pm 0,0002$ и 4620 ± 540 соответственно.

Как видно, происходит падение коли-титра и возрастание микробного числа. Это свидетельствует о том, что взаимодействие автохтонной и аллохтонной микрофлоры сточных вод может быть весьма длительным и не ограничиваться временем первичного пребывания привнесенных микроорганизмов в морской воде. Последнее обстоятельство представляет и определенный медицинский интерес.

Таким образом, в выделенной нами акватории контактной зоны с берега поступают загрязнения в основном хозяйственно-бытового происхождения, а со стороны моря - нефтяного. Вместе с тем, как было показано выше, в береговых стоках концентрация нефти превышает ПДК в сотни и тысячи раз. К этим двум потокам добавляется вторичное загрязнение из донных осадков.

Необходимо отметить, что, помимо указанных источников загрязнения, отрицательное влияние на морскую биоту прибрежного мелководья оказывает непосредственно человек. За десятиминутное пребывание в море он выделяет десятки миллионов бактерий, в том числе десятки тысяч кишечной палочки и является беспокоящим фактором для морских организмов [3].

Наряду с дальнейшим изучением антропогенного воздействия на морские организмы и их сообщества в выделенной нами контактной зоне "суша - море", будет сделана попытка оценить роль природного фактора в формировании морской биоты. По утверждению А.С.Зернова [4], основное воздействие на формирование сообществ в прибрежной акватории оказывают сильные шторма. В годы их отсутствия состояние сообществ остается стабильным. Можно полагать, что в настоящее время основное влияние будет оказывать именно антропогенный фактор, т.к. сильные шторма отмечаются не каждый год.

Как указывалось выше, важнейшей составной частью санитарно-биологических исследований является изучение роли морских организмов в самоочищении водоемов и формировании качества природных вод. Это позволит не только прогнозировать судьбу загрязнений в изучаемом нами районе, но и целенаправленно использовать морскую биоту для борьбы с загрязнением. В отделе морской санитарной гидробиологии будут продолжены работы по изучению трансформации органических веществ, включая нефтяные углеводороды, различными систематическими группами организмов, начиная от бактерий (включая взаимоотношение аллохтонной и автохтонной микрофлоры) до обитающих здесь беспозвоночных животных [1, 13].

Таким образом, проведение работ в узкой контактной зоне "суша - море" дополняет наши многолетние исследования в акватории Севастополя, что позволяет подойти к разработкам по улучшению экологического состояния конкретных акваторий данного региона. Решение проблемы мы видим в дальнейшем совершенствовании систем гидробиологической очистки загрязненных морских вод и оздоровления прибрежных акваторий. Опробованные ранее различные варианты гидробиологических систем в Черном море показали их высокую эффективность и надежность [16, 23]. Аналогичные системы могут быть развернуты в других морях, в частности, ведутся проработки их размещения в Баренцовом море [6].

1. Алемов С.В. *Nereis (Hediste) diversicolor*: физиология, биология и экология в условиях антропогенного загрязнения. - Севастополь: ЭкоСи - Гидрофизика, 2000. - 96 с.
2. Беляев В.И., Худошина М.Ю. Оценка влияния антропогенных факторов суши на состояние морской среды на основе логико-информационных моделей // Проблемы комплексной застройки южного берега Крыма: Мат. конф. - Симферополь, ПОП Управления статистики Крымской области. - 1988. - 2. - С. 3 - 4.
3. Зайцев Ю.П. Самое синее в мире. - Нью-Йорк: ООН, 1998. - 6.
4. Зернов С.А. К вопросу об изучении жизни Черного моря // Записки Импер. Акад. Наук. - 1913. - сер. 8. - 32. - № 1. - 283 с.
5. Миронов О.Г. Некоторые биологические аспекты самоочищения морей // Биологические науки. - 1969. - № 5. - С. 7 - 16.
6. Матишов Г.Г., Павлова Л.Г., Ильин Г.В. и др. Химические процессы в экосистемах северных морей. - Апатиты: Кольский научный центр РАН, 1997. - 404 с.
7. Миронов О.Г. Нефтеокисляющие микроорганизмы в море. - Киев: Наук. думка, 1971. - 234 с.
8. Миронов О.Г. Проблема самоочищения и гидробиологический метод борьбы с загрязнением // Биологическое самоочищение и формирование качества воды. - М., 1975. - С. 19 - 22.
9. Миронов О.Г. Наукові основи радянського міжнародного проекту біологічного моніторингу нафтового забруднення Середземноморського басейну // Вісник АН УРСР. - 1978. - № 8. - С. 84 - 87.
10. Миронов О.Г. Биодegradация нефти в морской среде // Человек и биосфера. - Москва: МГУ, 1982. - вып. 7. - С. 110 - 129.
11. Миронов О.Г. Влияние нефти и нефтепродуктов на морские организмы и их сообщества // Миронов О.Г. (ред.). Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана. - Л.: Гидрометеониздат, 1985. - 4. - 136 с.
12. Миронов О.Г. Взаимодействие морских организмов с нефтяными углеводородами. - Л., 1985. - 128 с.
13. Миронов О.Г. Мидии как элемент гидробиологической очистки загрязненных морских вод // Водные ресурсы. - 1988. - № 5. - С. 104 - 111.
14. Миронов О.Г. Методы и средства борьбы с нефтяным загрязнением вод Мирового океана / Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана. - Л., 1989. - 8. - С. 183 - 199.

15. *Миронов О.Г.* Состав органической компоненты ливневых стоков в районе г. Севастополя // Оценка расположенных на суше источников загрязнения морей, омывающих государства СНГ: Мат. междунар. конф. - Севастополь, 1992. - С. 81 - 84.
16. *Миронов О.Г.* Биологические проблемы нефтяного загрязнения морей // Гидробиол. журн. - 2000. - 36, № 1. - С. 82-96.
17. *Миронов О.Г., Алемов С.В.* Об охране и оздоровлении рекреационных акваторий Черного моря курортных районов Крыма // Проблемы комплексной застройки южного берега Крыма: Мат. конф. - Симферополь ПОП Упр. статистики Крымской обл. - 1988. - 2. - С.13 - 15.
18. *Миронов О.Г., Георга-Копулос Л.А.* О самоочищении морской воды от тяжелых нефтяных фракций // Гидробиол. журн. - 1979. - 15, № 3. - С. 42 - 45.
19. *Миронов О.Г., Кирюхина Л.Н., Алемов С.В.* Комплексные экологические исследования Балаклавской бухты // Экология моря. - 1999. - вып. 49. - С. 16 - 21.
20. *Миронов О.Г., Кирюхина Л.Н., Кучеренко М.И., Тархова Э.П.* Самоочищение в прибрежной акватории Черного моря. - Киев: Наук. думка, 1975. - 143 с.
21. *Миронов О.Г., Миловидова Н.Ю., Кирюхина Л.Н.* О предельно-допустимых концентрациях нефтепродуктов в донных осадках прибрежной зоны Черного моря // Гидробиол. журн. - 1986. - 22, № 6. - С. 76 - 78.
22. *Рубцова С.И.* К методике экспериментальной оценки скорости осаждения иловых частиц морских донных осадков // Экология моря. - 2000. - вып. 50. - С. 109 - 110.
23. *Mironov O.G., Schekaturina T.L., Alyomov S.V., Osadchaya T.S.* Perspectives of using of water cleaning hydrobiological method for sanitation and improvement of the coastal aquatoria state // Oil Spills in the Mediterranean and Black Sea Regions: II Inter. Conf. (31 Oct. - 3 Nov. 2000). - Istanbul, 2000. - P. 187 - 195.

Институт биологии южных морей НАНУ,
г. Севастополь

Получено 19. 04. 2001

O. G. MIRONOV

SANITARY - BIOLOGICAL ASPECTS OF THE INVESTIGATIONS IN "LAND - SEA" CONTACT AQUATIC ZONE

Summary

Transformation processes of the polluting matters in the " land - sea" contact aquatic zone are discussed on the examples of land drainage (storm run-off) and the pelagic pitch brought from sea on.