

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОД СЕВЕРНОЙ ПОЛОВИНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ В 90-Е ГОДЫ ПРОШЛОГО СТОЛЕТИЯ

*В.С. Дзицкий, Н.И. Минкина,
И.Г. Орлова*, Э.З. Самышев*

Институт биологии южных морей
им. А. О. Ковалевского НАН Украины,
Севастополь, пр. Нахимова, 2,

* Украинский научно-исследовательский
Центр экологии моря Министерства
охраны природы Украины,
Одесса, Французский бульвар, 89
dz_victor@mail.ru, niminkina@yandex.ru,
iorlova42@mail.ru, esamyshev@mail.ru

Впервые с использованием интегральных показателей получено целостное представление о токсикологическом поле в основных слоях пелагиали Черного моря в 1992 г. и его сезонной и пространственной изменчивости. Наиболее чистым море было в июле, что связано как с бурным развитием планктона, который адсорбирует поллютанты и, отмирая, удаляет их из деятельного слоя, так и с наибольшей интенсивностью седиментации взвеси.

Введение. Одним из важнейших направлений морской экологии является исследование экосистем в условиях изменяющегося уровня антропогенного загрязнения. Отрицательное воздействие на морские экосистемы оказывают множество поллютантов, поэтому при оценке их влияния на систему в целом и её элементы целесообразно использовать интегральные характеристики среды – воды, донных осадков, взвеси, гидробионтов – однозначно определяющие её качество. Такой подход представляется более продуктивным, чем анализ распределения отдельных загрязнителей, подверженных значительным пространственным и временным изменениям, часто разнонаправленным. В Черном море оценка качества воды с помощью интегрального показателя – индекса загрязнения воды (ИЗВ), учитывающего содержание кислорода в воде и концентрации трех приоритетных загрязнителей – проводится российскими исследователями (ФГУ ГОИН им. Н.Н. Зубова) в

рамках национальной программы мониторинга морской среды и регулярно публикуется [1, 2, 3]. Эти сведения относятся преимущественно к прибрежным акваториям городов, районам впадения рек и к заведомо чистым районам открытого моря для получения сведений о фоновых уровнях загрязнения. Измерения выполняются в поверхностных и придонных слоях на мелководье и на стандартных гидрологических горизонтах в пелагиали. В публикациях этих материалов горизонты, для которых рассчитываются значения ИЗВ, как правило, не указываются. Данные не соотносятся с гидрологической структурой обследуемых акваторий, что затрудняет их использование гидробиологами.

Наиболее полные материалы о содержании поллютантов в пелагиали Черного моря были получены в ходе уникального эксперимента по изучению годового цикла основных элементов педагогической экосистемы Черного моря, выполненного в 1992 – 1993 гг. сотрудниками Украинского научно-исследовательского центра экологии моря Министерства охраны окружающей природной среды (УкрНЦЭМ, г. Одесса) при участии специалистов ИнБЮМ НАНУ в рамках проекта ЭКОМОНОК, Государственной программы «Глобальные изменения природной среды и климата» ГКНТ СССР [4]. В сборнике работ, посвященных этим исследованиям, приводятся данные о пространственной и сезонной изменчивости в распределении основных классов загрязнителей морской среды [5, 6, 7, 8]. Но интегральные оценки уровня загрязненности основных слоев пелагиали и классификация качества воды на основании таких оценок не были сделаны. Настоящая работа имеет целью восполнить этот пробел. Т.о., задача состоит в оценке уровня загрязнения основных слоев пелагиали северной половины Черного моря в пространственном и сезонном аспектах на основании применения интегральных показателей загрязнения вод.

Материал и методы. Исходными данными для расчетов послужили результаты измерений в ходе четырех выполненных по единой сетке станций комплексных сезонных съемок на судах

УкрНЦЭМ в северной половине Черного моря, охвативших экономзоны Украины, России и Грузии (в 60 и 61 рейсах НИСП «Г. Ушаков» в марте и мае 1992 г. и в 57 и 58 рейсах НИСП «Э. Кренкель» в июле и в сентябре 1992 г.). Схема станций и динамическая топография горизонта 0 м в разные месяцы 1992 г. приводятся в работе [9]. В этих экспедициях УкрНЦЭМ были выполнены определения содержания в воде восьми видов тяжелых металлов (Hg, Zn, Ni, Cu, Pb, Cr, Cd, Fe), мышьяка, нефтепродуктов (НП), хлорорганических пестицидов ХОП (ДДТ, ДДЕ, ДДД, ГХЦГ) и полихлорбифенолов (ПХБ). Методика определений подробно изложена в работах [5, 6, 7, 8]. При анализе

рассчитывались

средневзвешенные концентрации поллютантов в следующих основных слоях толщи вод: поверхностном микрослое (ПМС, 0–1 м), верхнем перемешанном слое (ВПС), слое термоклина и слое «нижняя граница термоклина рой» ПМС в концентрировании поллютантов, в частности нефтепродуктов, хорошо известна и получила подтверждение во всех дальнейших исследованиях Мирового океана, включая и Черное море. С точки зрения гидробиологии ПМС является биотопом нейстона. Следующий слой – ВПС – характеризуется однородностью всех характеристик и является биотопом эпипланктонного сообщества. Далее – плотностной градиент слоя термоклина – способствует удержанию легких фракций комплексного загрязнения. Концентрации поллютантов в слое ниже термоклина характеризуют глубинные источники загрязнения и выведение загрязнения из деятельного слоя из-за оседания взвешенных частиц, его адсорбирующими. Ниже термоклина до слоев, зараженных сероводородом, существует батипланктонное сообщество.

Показатель ИЗВ рассчитывался по формуле [2, 3]

$$IZB = \frac{\text{норм } O_2 + \sum_{i=1}^3 \frac{C_i}{ПДК_i}}{C_{O_2}},$$

где C_i – концентрация трех наиболее значительных загрязнителей и растворенного в воде кислорода, для которого значение в формуле рассчитывается делением норматива на реальное содержание. Качество воды оценивалось в соответствии с табл. 1 [2, 3].

Результаты и обсуждение. Выявленные превалирующие загрязнители в слоях и по сезонам представлены в таблице 2. Во всех слоях пелагиали, включая ПМС, во все сезоны превалирующими загрязнителями являются железо (рис. 1), хром и медь. В поверхностном микрослое (ПМС) кроме этих металлов превышение ПДК наблюдалось для НП (рис. 2) и ХОС (ПХБ, ГХЦГ и ДДТ и его метаболитов) (рис. 3).

Таким образом, характер распределения превалирующих загрязнителей является достаточно сложным и определяется как гидрологией, так и процессами седиментации и поступления загрязнителей в водную среду вследствие экономической деятельности человека. Интересен тот факт, что в Азовском море превалирующими загрязнителями являются железо, хром и ртуть [10].

Сложный характер распределения основных поллютантов в пространстве, по глубине и во времени, обусловленный гидроструктурой вод, определяет особенности распределения индексов загрязнения воды (рис. 4). В ПМС по индексу ИЗВ вода классифицируется от «умеренно загрязненной» (Ш класс) в марте до «очень грязной» (VI класс) на северо-западе в сентябре. В ВПС – от «грязной» на северо-западе в марте до «чистой» в июле и сентябре. В слое термоклина вода классифицируется по индексу ИЗВ как «грязная» лишь в мае в центральной конвергентной зоне моря вследствие концентрирования и опускания поверхностных менее загрязненных вод [11]. Здесь загрязнение частично задерживается плотностным градиентом и в слое ниже термоклина загрязнение классифицируется уже как «умеренно загрязненное».

Тенденция сезонной изменчивости загрязненности воды может быть оценена сравнением средних за сезон величин индексов загрязнения воды (табл. 3). По

средним на всей обследованной акватории значениям индекса ИЗВ видно, что наиболее чистым море было в июле, что может быть следствием усиления процессов самоочищения в море из-за высо-

кой температуры, бурного развития фито- и бактериопланктона, которые адсорбируют, перерабатывают загрязнение и, отмирая, удаляют загрязнение из деятельного слоя.

Таблица 1

Классы качества морской воды по индексу загрязнения воды

Класс качества воды	Характеристика качества воды	Величина ИЗВ
I	очень чистая	ИЗВ < 0,25
II	чистая	0,26 < ИЗВ ≤ 0,75
III	умеренно загрязненная	0,76 < ИЗВ ≤ 1,25
IV	загрязненная	1,26 < ИЗВ ≤ 1,75
V	грязная	1,76 < ИЗВ ≤ 3,00
VI	очень грязная	3,01 < ИЗВ ≤ 5,00

Таблица 2

Превалирующие загрязнители толщи вод северной половины Черного моря в 1992 г.

Концентрация по отношению к ПДК, %	Март-апрель			Май			Июль			Сентябрь		
	Поверхностный микрослой (ПМС)											
	Fe	НУВ	Cr	Cr	Fe	НУВ	НУВ	ПХБ	ДДЕ	Pb	НУВ	Fe
Средняя	231.0	205.0	72.5	390.0	377.3	205.0	462.0	224.3	100.8	591.2	462.0	417.6
Максим.	284.0	400.0	100.0	890.0	764.0	400.0	1200.0	314.0	201.6	2606.0	1200.0	748.0
Верхний перемешанный слой (ВПС)												
	Fe	Cr	Cu	Fe	Cr	Zn	Cr	Fe	Hg	Fe	Cr	Cu
Средняя	241.7	137.0	45.6	109.3	104.5	83.8	115.8	84.0	59.4	125.6	113.2	62.2
Максим.	880.0	380.0	90.0	254.0	233.0	209.1	140.0	118.0	75.0	216.0	171.0	99.0
Слой температурного скачка (слой термоклина)												
	Fe	Pb	Cu	Fe	Cr	Cu	Fe	Cr	Cu	Fe	Cu	Cr
Средняя	164.0	108.0	164.0	191.3	104.5	57.0	149.3	123.5	57.7	486.0	123.0	80.5
Максим.	164.0	108.0	164.0	606.0	200.0	110.0	308.0	170.0	88.0	872.0	186.0	95.0
Слой от нижней границы термоклина до 100 м												
	Fe	Cu	Cr	Fe	Cr	Cu	Cr	Fe	Cu	Fe	Cr	Cu
Средняя	153.2	145.4	74.8	124.3	112.8	49.3	137.0	111.7	76.7	128.0	86.3	64.5
Максим.	482.0	547.0	123.0	334.0	180.0	78.0	250.0	220.0	122.0	208.0	98.0	82.0

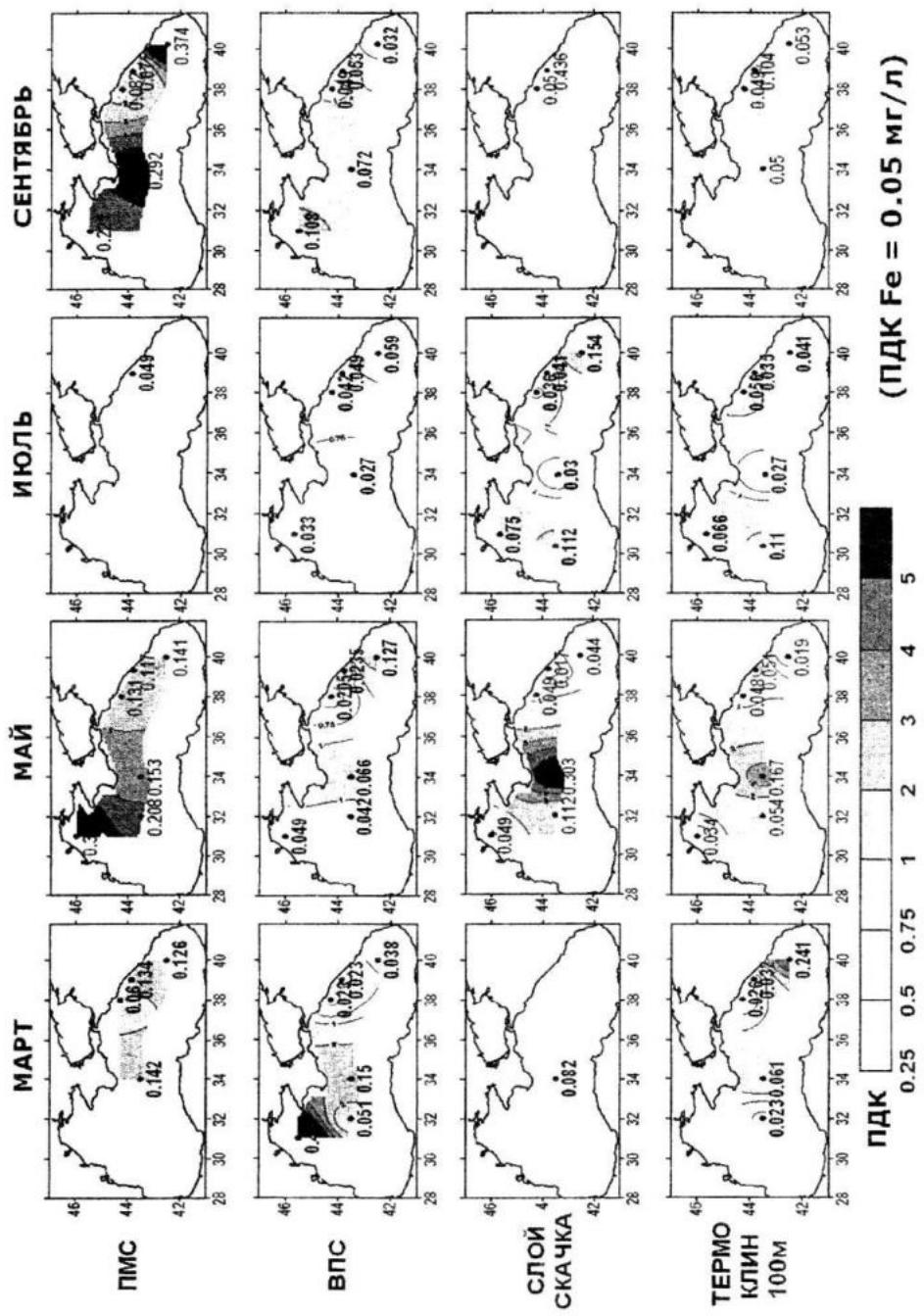


Рис. 1. Распределение содержания железа (в отношении к ПДК) в основных слоях пелагиали северной половины Черного моря в разные сезоны 1992 г. Окрашенные области соответствуют зонам превышения ПДК. Нанесены абсолютные значения концентраций ($\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$)

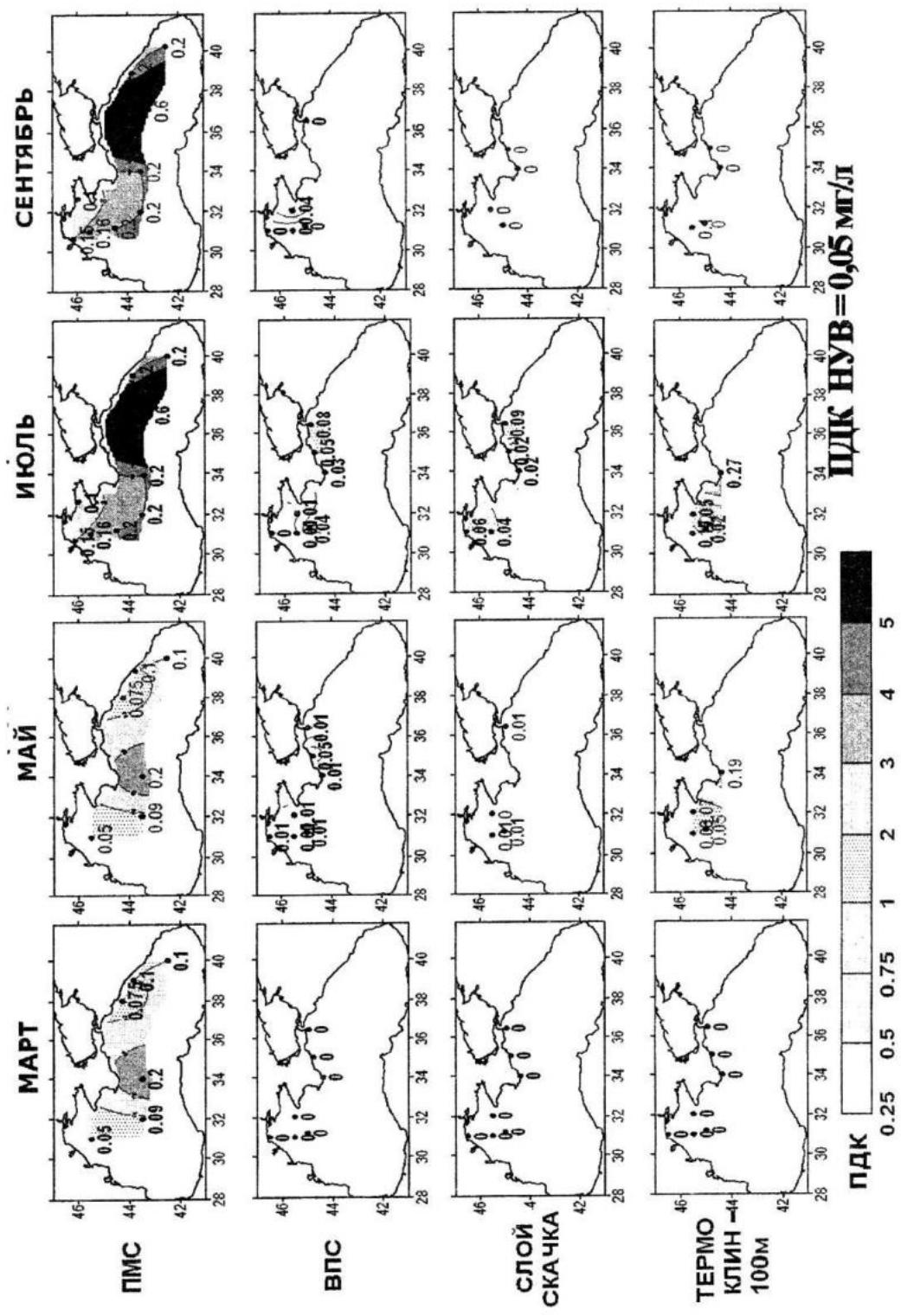


Рис. 2. Распределение содержания нефтеулаводородов (в долях ПДК) в основных слоях пелагии северной половины Черного моря в разные сезоны 1992 г. Окрашенные области соответствуют зонам превышения ПДК. Нанесены абсолютные значения концентраций ($\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$)

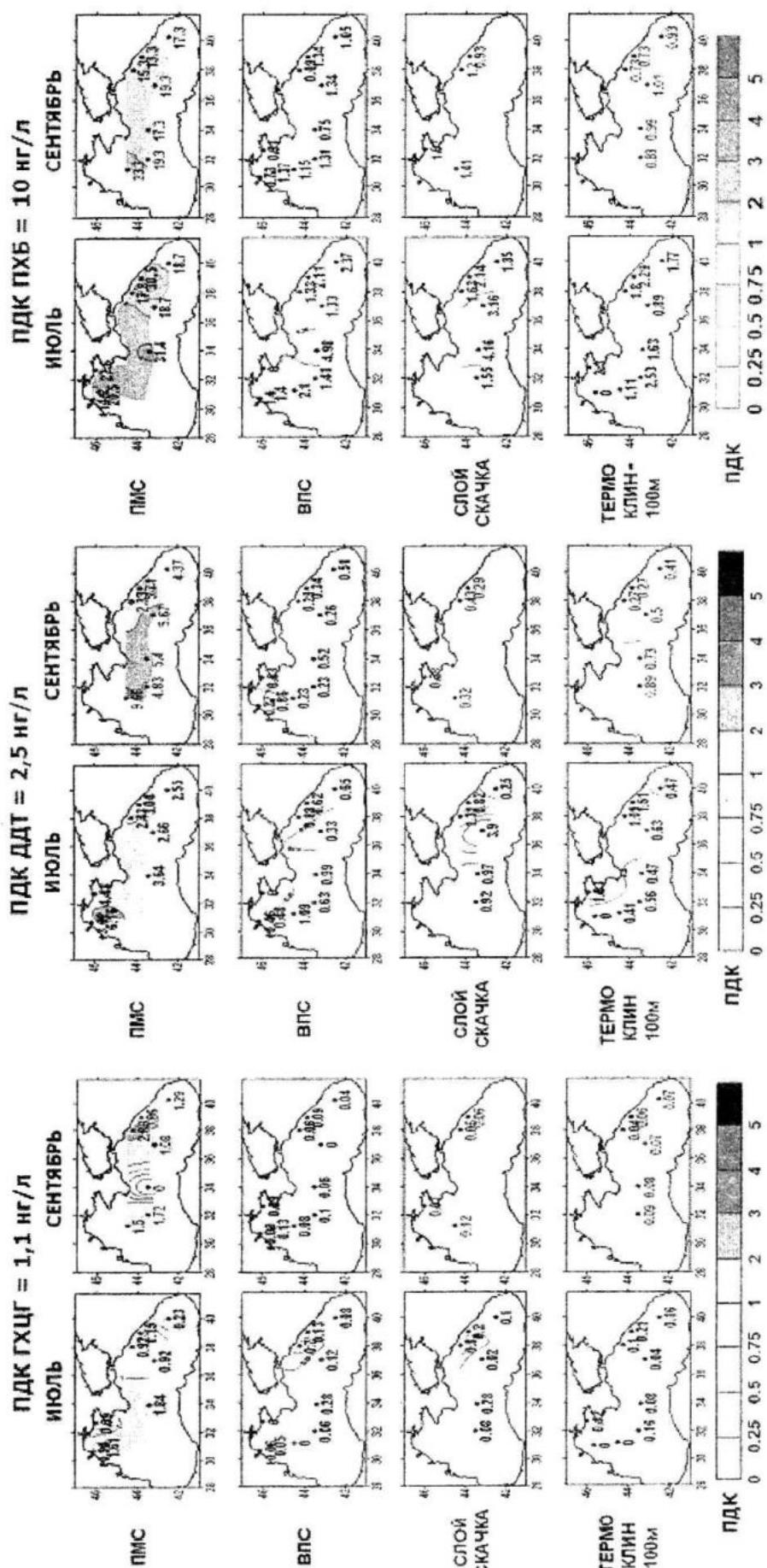


Рис. 3. Распределение содержания ГХЦГ, суммарного ДДТ и ПХБ (в долях ПДК) в основных слоях пелагии северной половины Черного моря в разные сезоны 1992 г. Окрашенные области соответствуют зонам превышения ПДК. В точках нанесены соответствующие значения концентраций ($\text{нг}^*\text{л}^{-1}$)

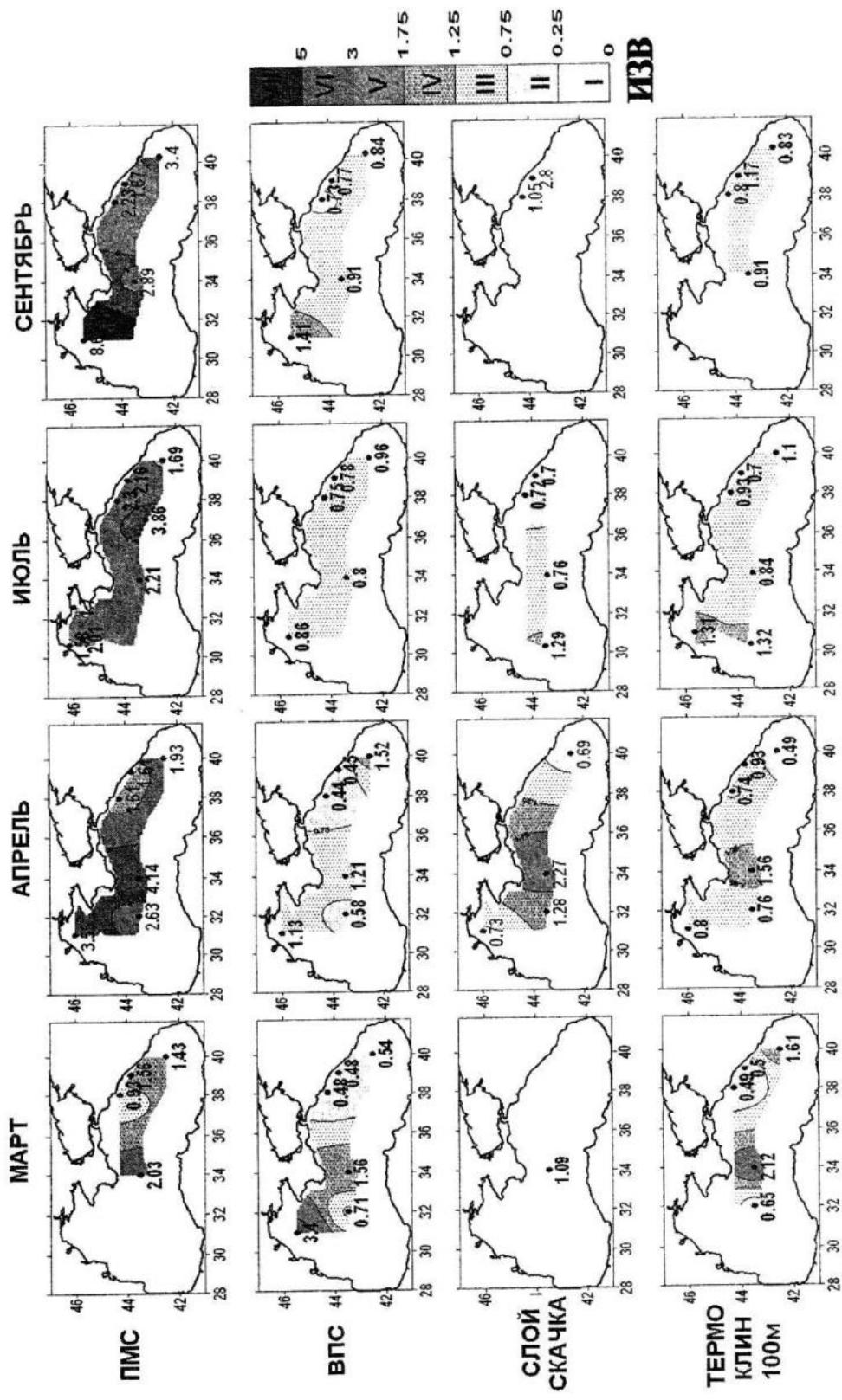


Рис. 4. Распределение значений индекса суммарного загрязнения (ИЗВ) в основных слоях пелагии северной половины Черного моря в разные сезоны 1992 г.

Таблица 3

Сезонная изменчивость средних величин индекса загрязненности воды (ИЗВ) и классификация качества вод северной половины Черного моря в 1992 г.

Слой	Март-апрель	Май	Июль	Сентябрь	Среднегодовой индекс
ПМС	1.31 (IV)	2.58 (V)	2.22 (V)	3.05 (VI)	2.29 (V)
ВПС	0.85 (III)	0.89 (III)	0.83 (III)	0.93 (III)	0.88 (III)
Слой термоклина	—	1.03 (III)	0.93 (III)	1.93 (V)	1.30 (IV)
Нижняя граница термоклина – 100 м	1.07 (III)	0.88 (III)	1.00 (III)	0.8 (III)	0.94 (III)

Интенсивность удаления загрязнения из слоя фотосинтеза вследствие процессов седиментации и биоседиментации была оценена по данным, полученным в этих же экспедициях УкрНЦЭМ, по измеренной скорости оседания общей взвеси (ОВ) и взвешенного органического вещества (ВОВ) в работе [9]. Действительно, интенсивность седиментации как ОВ, так и ВОВ была максимальной именно в июле, что, по-видимому, и объясняет наблюдавшийся меньший уровень загрязненности моря летом.

Выводы. Впервые с использованием интегральных показателей получено целостное представление о токсикологическом поле вод северной половины Черного моря в 90-гг. прошлого столетия и его сезонной и пространственной изменчивости.

Превалирующими загрязнителями вод (с превышением ПДК) практически во все сезоны были железо, хром и медь.

В поверхностном микрослое (ПМС) кроме этих металлов превышение ПДК наблюдалось для НП и ХОС (ПХБ, ГХЦГ и ДДГ и его метаболитов).

Наиболее высокий уровень загрязненности пелагиали наблюдался весной (март, май), что, вероятно, связано с весенним паводком.

Наиболее чистым море было в июле, что объясняется как бурным развитием из-за высокой температуры воды фито- и бактериопланктона, которые адсорбируют и перерабатывают загрязнение и, отмирая, удаляют загрязнители из дея-

тельного слоя, так и наибольшей интенсивностью седиментации взвеси.

Классификация загрязненности вод на основании распределения индексов загрязнения в выделенных основных слоях моря позволяет оценивать комплексное загрязнение в различных биотопах пелагиали. Такой подход имеет важное методическое значение при изучении влияния антропогенного загрязнения на структуру и функционирование различных компонентов биоты в пелагической экосистеме моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романкевич Е.А., Айбулатов Н.А. Геохимическое состояние морей России и здоровье человека // Вестник отделения наук о Земле РАН: электронный науч. – инф.журн. – №1 (22). – 2004. – 16 с.
2. Коршенко А.Н., Матвейчук И.Г., Плотникова Т.И., Удовенко А.В. Качество морских вод по гидрохимическим показателям // Ежегодник федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – Обнинск: изд-во ГОИН. – 2009. – 13 с.
3. Коршенко А.Н., Матвейчук И.Г., Плотникова Т.И., Иванов Д.Б., Панова А.В., Кирьянов В.С. Химическое загрязнение морей России // Качество морских вод по гидрохимическим показателям // Ежегодник федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – Обнинск: изд-во ГОИН. – 2008. – 21 с.

4. Мединец В.И., Грузов Л.Н., Орлова И.Г., Василева В.Н., Попов Ю.И.. Исследование годового цикла основных элементов экосистемы северной части Черного моря // Исследование экосистемы Черного моря / Сб. науч.тр. (Министерство охраны окружающей природной среды Украины, Укр. науч. Центр экологии моря). – Вып.1. – Одесса, 1994. – С. 12 – 16.
5. Деньга Ю.М., Зарубин Ю.В., Трескунов Б.О. Загрязнение Черного моря нефтью и нефтепродуктами // Исследование экосистемы Черного моря: / Сб. науч. тр. (Министерство охраны окружающей природной среды Украины, Укр. науч. Центр экологии моря). – Вып.1. – Одесса, 1994. – С. 24 – 29.
6. Мединец В.И., Колесов А.А., Колесов В.А. Токсичные металлы в морской среде // Исследование экосистемы Черного моря: / Сб. науч. тр. (Министерство охраны окружающей природной среды Украины, Укр. науч. Центр экологии моря). – Вып.1. – Одесса, 1994. – С. 47 – 53.
7. Орлова И.Г. Хлорированные углеводороды в морских экосистемах. – СПб: Гидрометеоиздат. – 1992. – 107 с.
8. Орлова И.Г. Хлорированные углеводороды в экосистеме Черного моря // Исследование экосистемы Черного моря: / Сб. науч. тр. (Министерство охраны окружающей природной среды Украины, Укр. науч. Центр экологии моря). – Вып.1. – Одесса, 1994. – С. 36 – 46.
9. Самышев Э.З. Содержание взвешенного органического вещества и интенсивность его седиментации в фотическом слое вод Черного моря // Системы контроля окружающей среды. Средства, информационные технологии и мониторинг: Сб. науч. тр. / НАН Украины. МГИ: – Севастополь, 2009. – С. 352 – 359.
10. Кленкин А.А. Экоаналитическая оценка состояния Азовского моря в многолетней динамике / Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. д.х.н. – Краснодар, 2008. – 47 с.
11. Георгиев В.Т., Герасимов С.А., Попов Ю.И. Гидродинамическое состояние открытых вод северной половины Черного моря в 1992-1993 гг. // Исследование экосистемы Черного моря: Сб. науч.тр. (Министерство охраны окружающей природной среды Украины, Укр. науч. Центр экологии моря). – Вып.1.– Одесса, 1994. – С. 17 – 23.