

Е.Е.Совга*, В.А.Жоров*,
С.Г.Богуславский**, В.П.Сидень*

* *Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь*

** *Экспериментальное отделение Морского гидрофизического института
НАН Украины, пос.Кацивели*

РАЙОНИРОВАНИЕ АКВАТОРИИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ШЕЛЬФОВЫХ ЭКОСИСТЕМ

Рассматривается информация о районировании северо-западной части Черного моря по эколого-географическим, гидрологическим, гидрохимическим, гидробиотическим параметрам, а также по скорости роста мидий, скоростям геохимической миграции элементов на границе вода – донные отложения. С использованием величин мутности воды, пространственных градиентов органического вещества, биогенных элементов, фитопланктона, хлорофилла «а» качественно определены границы характерных районов. Предлагается разделить северо-западную часть на семь районов с последующим созданием боксовой модели экосистемы данного района.

Построение математической модели экосистемы северо-западной части Черного моря (СЗЧМ), учитывающей все разнообразие и отличие протекающих в ней гидрофизических, гидробиологических, гидрохимических и геохимических процессов, включая и процессы на границе вода – донные отложения, в математическом плане представляет собой очень сложную задачу.

Упростить ее можно путем построения нескольких моделей, которые учитывали бы структуру и специфику той или иной части акватории исследуемого района. С этой целью в настоящей работе осуществлено районирование акватории (СЗЧМ) с учетом уже существующих схем районирования с привлечением дополнительной информации, необходимой при решении задач математического моделирования экосистем, а именно: сезонной изменчивости первичной продукции акватории, перераспределения численности планктонных организмов на фоне изменяющейся гидродинамической ситуации, отличий по акватории в процессах седиментогенеза.

К настоящему времени проведены исследования, посвященные районированию акватории СЗЧМ, с привлечением целого ряда океанологических факторов. Так, в соответствии с работой Ю.П.Зайцева [1], районирование акватории СЗЧМ осуществлялось по эколого-географическому признаку. Учитывались при этом глубина выделяемого района, тип берегов, соленость и температура воды, особенности биологических видов и сообществ. По Ю.П.Зайцеву акватория СЗЧМ разделяется по указанным признакам на четыре сектора: Западный (I), Каркинитский (II), Центральный (III) и Каламитский (IV). Они представлены в виде схемы на рис.1.

Под эколого-географическим районированием подразумевается районирование по параметрам, отражающим экологические и географические особенности района. Экологические параметры, в свою очередь, должны

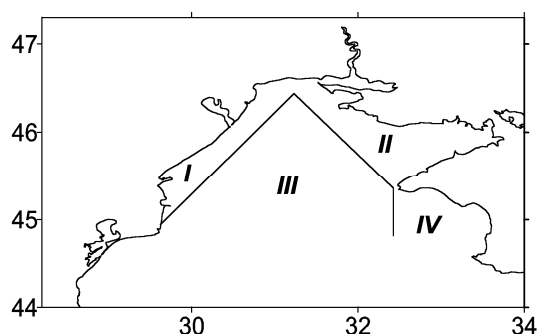


Рис. 1. Схема эколого-географического районирования СЗЧМ (по [1]): Западный (I), Каркинитский (II), Центральный (III) и Каламитский (IV) сектора.

отражать структуру и состав биоценоза, а также физические свойства и химический состав окружающей среды.

Параметры, используемые при районировании в [1], приведены в табл. Они включают: глубину района, средние значения солености и температуры, а также особенности и отличия в животном и растительном мире.

На распределение животных по акватории СЗЧМ в различные сезоны влияют, в первую очередь, такие гидрофизические характеристики, как температура, соленость и глубина акватории. Гидродинамический режим влияет на перераспределение численности планктонных организмов, являющихся кормом для животных более высокого трофического уровня. Высокая численность биологических организмов в пределах северо-западного шельфа, например, в летний период объясняется благоприятными гидрофизическими условиями для развития животных как низших, так и высших трофических уровней. Простейшие организмы, в силу сложности структуры течений в летний период, перераспределяются по СЗЧМ, практически не выходя за ее пределы. Таким образом, наблюдаемые летом в пределах акватории СЗЧМ течения создают замкнутую систему, относительно обособленную от остальной части Черного моря. Сравнительно небольшие размеры этой системы и значительная востребованность ее в шельфовом хозяйстве береговой зоны позволяют предположить сильную ее зависимость от антропогенных факторов.

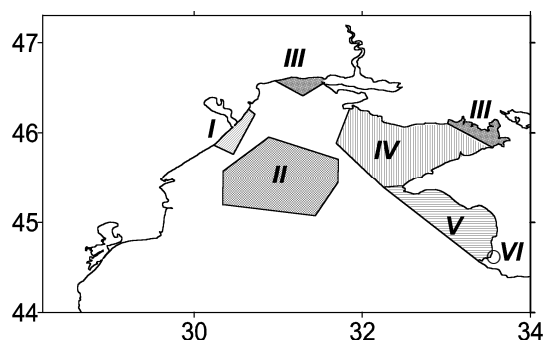
Существует также районирование по гидрботаническому признаку [2] (рис.2), согласно которому выделяется шесть районов: 1 – район Одессы; 2 – филлофорное поле Зернова; 3 – Егорлицко-Тендоровский и Джарылгачско-Перекопский районы; 4 – Каркинитский залив; 5 – Тарханкутско-Севастопольский район; 6 – Севастопольская бухта.

Участки берегов с закономерно повторяющимися эколого-фитоценотическими рядами определенных фитоценозов объединены в гидрботанические районы, которые соответствуют флористическим районам (рис.2). Каждый район отличается своеобразием гидрологического и гидрохимического режимов, особенностями состава, структуры и распределения фитоценозов, продуктивностью макрофитов и их промысловой значимостью [2].

Наиболее высокой продуктивностью обладают 2, 3 и 4 гидрботанические районы (филлофлорное поле Зернова, Егорлыцко-Тендровско-Джарылгачско-Перекопский район, Каркинитский залив), где запасы донной растительности достигают 70 % общих запасов фитобентоса. По количественному развитию донных фитоценозов СЗЧМ является наиболее богатой.

Т а б л и ц а . Характеристики районов, расположенных в пределах акватории СЗЧМ и полученных в результате эколого-географического районирования [1].

показатели	сектор			
	Западный	Каркинитский	Центральный	Каламитский
ср. глубина, м	20	20	20 – 50	10-30
макс. глубина, м	30	30	200	200
тип берегов	дельтовые, первично-аккумулятивные деградирующие, абразивно-оползневые в глинистых породах, аккумулятивные выровненные, антропогенные	первично-аккумулятивные деградирующие, аккумулятивные выровненные, абразионно-аккумулятивные мелкобухтовые, горно-абразионные мелкобухтовые		горно-абразионные мелкобухтовые, лагунные, абразивно-обвальные в глинистых породах
соленость, ‰	10 – 15	17 – 18	17 – 18	18
температура, °С				
летом	25	30	25	25 – 26
зимой	0	лед	4	4
планктон и бентос	значительная доля пресноводного и солоноватоводного происхождения	доминируют средиземно-морские представители фауны	в планктоне преобладают морские виды, но встречаются пресноводные и солоноватоводные. Большую часть бентали занимает биоценоз филлофоры, глубинную – биоценоз фазеолины	фауна морского типа
рыбы	в теплое время года нагуливается молодь калкана, глоссы, бычков, кефалей, хамсы, ставриды и др. весенние и осенние миграции рыб западного стада	в теплое время года нагуливается молодь калкана, осетровых, кефали, бычков и др.	филлофорное поле и биоценоз фазеолины являются кормовой базой практически для всех видов рыб	нерестовые и нагульные миграции восточно-черноморских стад хамсы, ставриды, кефали и др.



Р и с . 2 . Гидробиотическое районирование (фрагмент): Одесский залив (I), филофорное поле Зернова (II), Егорлыцко-Тендровско-Джарылгачско-Перекопский район (III); Каркинитский залив (IV); Тарханкутско-Севастопольский район (V); \circ – Севастопольская бухта (IV).

В [3] представлено районирование вод северо-западной части Черного моря по термохалинным показателям. Оно было осуществлено на основе материалов подробных гидрологических съемок, выполненных УкрНЦЭМ в различные сезоны в период 1990 – 1994 гг. В итоге было выделено четыре типа водных масс: приустьевые водные массы ($S < 16,3 \text{ ‰}$), шельфовые водные массы ($S = 17,6 \text{ ‰}$), шельфовые водные массы Каркинитского залива ($S = 17,0 - 17,6 \text{ ‰}$) и поверхностные водные массы открытого моря ($S = 17,6 - 18,3 \text{ ‰}$). В переходные периоды (весна, осень) приустьевые водные массы разделились на Дунайские, Днестро-Бугские и Днестровские водные массы.

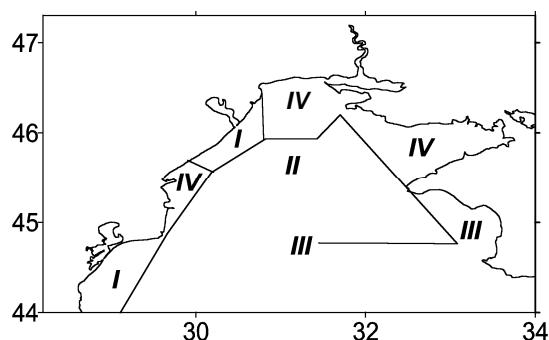
Аналогично по термохалинному анализу осуществлено районирование в [4]. Однако, в отличие от [3], где исследуемые водные массы рассматриваются как изолированные друг от друга, в [4] выделен район смещения водных масс и район глубокого моря (свал глубин).

На основе совместного учета гидрофизических и гидрохимических характеристик выполнено районирование СЗЧМ в [5]. Однако районирование проводилось по данным усредненных характеристик водных масс, что не может дать четкого представления об изменениях границ их распространения.

Кроме упомянутых работ по районированию, использующих несколько параметров водных масс, существует районирование, выполненное по какому-либо одному параметру. Так, в [6] с помощью теории нечетких множеств проведено районирование СЗЧМ по показателям роста мидий. В качестве показателей роста использовались параметры управления роста Бергаланфи. На основании анализа матрицы мер сходства этих показателей для СЗЧМ выделены три области, различающиеся по характеру роста моллюсков.

В настоящей работе районирование СЗЧМ осуществлено на основе опыта районирования перечисленных выше работ, но с привлечением информации о процессах, протекающих на границе вода – донные отложения, поскольку поверхностные осадки несут информацию не только о геологических процессах, но и гидробиологических и физико-химических условиях над донной воды и гидродинамики вод. Для того, чтобы при районировании учесть вышеперечисленные процессы, нами были использованы данные о геохимии ландшафтов СЗЧМ, представленные в [7]. Районирование поверхности осадков СЗЧМ представлено на рис.3.

Так называемые аквальные ландшафты по геохимической миграции элементов представлены в виде четырех районов (рис.3). На фоне геохимического состава осадков в каждом районе рассматриваются также некоторые гидробиологические и гидрохимические параметры.



Р и с . 3 . Районирование поверхности осадков СЗЧМ: кислородные трансаквальные ландшафты (I); кислород-глеевые (II); кислородно-сероводородные трансаквальные ландшафты (III); кислородно-сероводородные аккумулятивные (IV).

1-й район расположен в западной прибрежной зоне за исключением Дуная. Кислородные трансаквальные ландшафты на слабо известковых и известковых песках и ракушнях прибрежной зоны, высокопродуктивны с активным гидродинамическим режимом, O_2 в воде и осадках.

2-й район расположен в центральной части шельфа, в нем находятся кислород-глеевые ландшафты на ракушнях, в них содержание пелита до 20 %, органических веществ до 1 – 1,5 %. В воде и верхнем слое осадков – среда окислительная, ниже – восстановительная глеевая, из осадков в воду микроэлементы не поступают. В центральной части шельфа скапливается красная водоросль – филлофлора, она в этом районе составляет ~ 70 % количества макрофитов в море. В целом кислородно-глеевые ландшафты характеризуются слабым потоком вещества во взвешенном состоянии. Диагезис в осадках находится на начальном этапе.

3-й район представлен кислородно-сероводородным слабо восстановленным осадком. Расположен на внешнем крае шельфа, в Каламитском заливе, где волновые процессы снижены. Осадки – глинистые илы, в них органических веществ содержится 1,5 – 2,0 %. В верхних кислородосодержащих осадках образуются конкреции, в нижних – сульфиды. Верхний кислородный слой задерживает поток элементов в воду.

4-й район представлен кислородно-сероводородным аккумулятивным ландшафтом на слабо известковых мелко алевритовых илах. Они распространены в понижениях Днепровского желоба, Каркинитском заливе, авандельте Дуная. В них накапливается до 44 – 52 % пелита и содержится 2 – 3 % органического вещества. В воде преобладает окислительная, в осадках – (сероводородная) восстановительная среда. Из осадков в придонные воды мигрируют соединения фосфора и азота. В кислородно-водородных ландшафтах элементы интенсивно обмениваются между водой и илами. Из воды осаждаются тонкодисперсные взвеси, обогащенные микроэлементами, органическим веществом.

Типичные мезомасштабные неоднородности полей температур, гидрохимических, гидрофизических полей, гидробиологических параметров СЗЧМ формируются под воздействием динамических процессов инерционного, суточного, синоптического масштабов. В придонных слоях в формировании неоднородностей участвуют топографические волны, в приустьевых районах – плотностные течения, термохалинные процессы [8].

В СЗЧМ термоклин – главный фактор контроля распределения взвеси по вертикали. Кромка шельфа характеризуется увеличенным содержанием

взвеси из-за влияния квазиоднородных течений и разрушающихся внутренних волн. Чаще всего заморы наблюдались в трех зонах: Одесской, Центральной, Дунайской [9].

Видимо, наиболее информативным параметром для оценки границ характерных районов является мутность вод. Максимальные содержания взвесей автохтонного происхождения наблюдаются в районе гидрофронтов Днепра, Днестра, Дуная, ширина этой зоны колеблется от 40 до 60 км [10], от устья Днепра и Килийским рукавом Дуная она составляет всего 20 – 30 км. Величина мутности вод, качественный состав, безусловно, меняется от сезона, по глубине, от района. В слое 0 – 1 м повышенные содержания взвесей приурочены к устьям. Максимальные содержания взвесей наблюдаются в узкой прибрежной полосе ($> 3 - 5$ мг/л) шириной $< 2 - 5$ миль.

В половодье и при малом твердом стоке в устьях рек максимальная мутность возникает из-за сгонных явлений, располагается на глубине 50 м. Летом в штилевую погоду содержание взвесей уменьшается с глубиной. В половодье концентрация взвесей в дельте Дуная 500 мг/л, на расстоянии 25 км от дельты 2 мг/л [11].

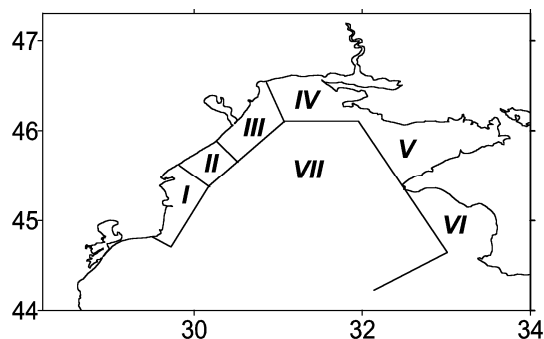
В районах без стока, например, к юго-западу от Евпаторийского залива, существенные изменения в распределении взвеси обусловлены благодаря присутствию диатомового детрита и окисленных частиц трехвалентного железа.

Содержание органического вещества взвеси зависит от района: в устье оно составляет 14 – 26 %, на расстоянии ($n - 10n$) км от устья 34 – 42 %, в районах без стока 50 – 80 % [12]. Детрит на поверхности современных осадков приурочен к ракушникам, мидиевым и фазеолиновым илам, к зонам активного обмена вод. На поле Зернова в центре циклонического круговорота скорость накопления детрита минимальна [13].

Химические параметры среды подтверждают геологическую информацию, например, пространственное распределение PO_4^{3-} ощущалось на расстоянии 30 – 40 км от устьев Днестра и Дуная с отрицательным градиентом 0,001 – 0,002 мкг-атР/л на 1 км. За этими границами распределение PO_4^{3-} монотонное [14].

Летом максимальные содержания хлорофилла «а» могут быть приурочены к Придунайскому (24 – 51 мг/м³), Приднестровскому, Приднестровско-Бугскому (2 – 8 мг/м³) районам, фоновые для всего района концентрации 0,3 – 0,7 мг/м³ (1980 г.). Наибольшие величины первичной продукции летом отмечены в зонах речных гидрофронтов Дуная, Днестра (1 – 3 гС/м²·сут); в центре и на востоке района 0,5 – 1,0 гС/м²·сут. Наибольшая численность клеток фитопланктона у Днестровского лимана и устья Дуная (7180 млн.кл/м³, 421 г/м³), минимальные – между ними (78 млн.кл/м³, 115 г/м³); на большей части моря 2900 млн. кл/м³, 163,7 г/м³ [15].

По мере прогрева вод СЗЧМ до максимальных значений зоопланктон представлен эвритермными, теплолюбивыми видами и максимальной биомассой в июле – августе (148,3 – 465,6 мг/м³). По площади СЗЧМ основная масса зоопланктона содержится в распресненном районе (севернее линии м.Тарханкут – устье Дуная), на участках вдоль западного и восточного побережий, в зонах подъема и опускания вод. Районами постоянного присутствия кормового планктона являются: Придунайский, Приднестровский,



Р и с . 4 . Районирование акватории СЗЧМ с учетом требований боксовой модели.

Каркинитский залив [16].

Привлечение к районированию дополнительных параметров, таких как гидрофизические характеристики водных масс, включающие, кроме солености и температуры, мутность воды, гидробиологические и гидрохимические характеристики (распределение по акватории органического вещества, хлорофилла «а», фосфатов, численность фитопланктона), позволили, осу-

ществить районирование исследуемой акватории применительно к задачам математического моделирования морских экосистем. В результате такого подхода на исследуемой акватории были выделены семь районов (боксов) (рис.4).

Вдоль западных и северных берегов просматриваются четыре района: Придунайский, междуречье Дунай – Днестр, Приднестровский, Приднепровско-Бугский; отдельно выделены Каркинитский залив, Каламитский залив, центральная часть.

Три района (боксы) – кислородные трансаквальные ландшафты, высокопродуктивны с активным гидродинамическим режимом, в них попадают зоны повышенной мутности воды, максимальные концентрации хлорофилла «а», высокие биомассы зоопланктона.

В [1] предлагаемые три района объединены в один – западный. Общая океанологическая характеристика района объективна, и с нею можно согласиться. Но есть некоторые отличия, важные при характеристике боксов. В западном районе оказались кислородные трансаквальные и кислородно-сероводородные аккумулятивные ландшафты, на порядок выше биомассы зоопланктона в Придунайском районе.

Центральная часть – кислородно-глеевые ландшафты, здесь находится филлофорное поле Зернова (рис.2), биоценозы филлофоры и фазеолины являются кормовой базой рыб, для нее характерны максимальные биомассы зоопланктона в слое 0 – 25 м.

Каркинитский залив – кислородно-сероводородный ландшафт, выделен в самостоятельный гидрботанический район с доминирующей средиземноморской фауной, с высокой концентрацией кормового зоопланктона; здесь во время весенней миграции при благоприятных гидрометеороусловиях скапливается хамса, летом нагуливается молодь рыб.

Каламитский залив – кислородно-сероводородные трансаквальные ландшафты, самостоятельный гидрботанический район с фауной морского типа, место нерестовых и нагульных миграций рыб.

Таким образом, представленное в нашей работе районирование акватории северо-западной части Черного моря позволяет разработать для конкретного выделяемого района бокс-модели экосистемы данного района, в которой полностью могут быть учтены специфика гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зайцев Ю.П.* Экологическое состояние шельфовой зоны Черного моря у побережья Украины // Гидробиологический журнал.– 1992.– 4.– С.3-18.
2. *Калугина-Гутник А.В.* Фитобентос Черного моря.– Киев: Наукова думка, 1975.– 347 с.
3. *Успенский В.В., Попов Ю.И.* Районирование вод северо-западной части Черного моря по термохалинным показателям // Екологічні проблеми Чорного моря.– Одеса: УНТЕПІОНІ ОА, 2003.– 6.5. – С.374-377.
4. *Лоева И.Д., Орлова И.Г. и др.* К вопросу о подготовке справочника «Экологическое состояние северо-западной части черного моря» // Екологічні проблеми Чорного моря.– Одеса: УНТЕПІОНІ ОА, 2003.– 6.5. – С.228-232.
5. *Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И., Берлинский Н.А., Гончаров А.Ю.* Районирование Украинского сектора северо-западной части Черного моря (по гидрофизическим и гидрохимическим характеристикам) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000.– С.9-24.
6. *Варигин Ю.А.* Районирование северо-западной части Черного моря по показателям роста мидий // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2002.– вып.1(6).– С.279-283.
7. *Хованский А.Д., Черноусов С.Я.* Геохимия ландшафтов северо-западной части Черного моря // Геохимия.– 1989.– 12.– С.1727-1735.
8. *Христофоров Г.Н.* Физико-географическая характеристика северо-западного района Черного моря // Системный анализ и моделирование процессов на шельфе Черного моря.– Севастополь: МГИ АН УССР, 1983.– С.60-70.
9. *Берлинский Н.А., Дыханов Ю.М.* К вопросу о формировании придонной гипоксии в северо-западной части Черного моря // Экология моря.– 1991.– 38.– С.11-15.
10. *Айтбулатов Н.А., Новикова З.Г.* Количественное распределение взвеси в шельфовых водах Черного моря // Океанология.– 1984.– 24, №6.– С.960-968.
11. *Хрусталеv Ю.П., Черноусов С.Я., Денисов В.Н.* Некоторые особенности и закономерности седиментогенеза северо-западной части Черного моря (вещественный состав и распределение взвесей) // Океанология.– 1990.– 30, №2.– С.288-294.
12. *Бурлакова З.П., Еремеева Л.В., Крупаткина Д.К.* Распределение и элементный состав взвешенного вещества в западной и северо-западной частях Черного моря // Процессы формирования и внутригодовой изменчивости гидрофизических и гидрохимических полей Черного моря.– Севастополь: МГИ АН УССР, 1988.– С.162-172.
13. *Катуков А.В., Жоров В.А.* Особенности распределения органического осадка на поверхности грунта северо-западной части Черного моря // Гидробиологический журнал.– 1988.– 24, №1.– С.58-61.
14. *Кирикова М.В.* Пространственное распределение минерального Р в верхнем слое Черного моря в позднелетний период // Экология моря.– 1985.– 21.– С.8-14.
15. *Нестерова Д.А.* Развитие фитопланктона северо-западной части Черного моря в весенний, летний, осенний периоды // Биология моря.– 1977.– 43.– С.17-23.
16. *Горомосова С.А.* Сезонное развитие и распределение зоопланктона в северо-западной части Черного моря.– М.: Пищевая промышленность, 1964.– С.69-80.

Материал поступил в редакцию 12.12.2004 г.
После доработки 23.03.2005 г.