

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ УКРАИНСКОГО УЧАСТКА ВЗМОРЬЯ ДУНАЯ

© 2013 г. Ю. И. Богатова

Одесский филиал Института биологии южных морей

Национальной академии наук Украины

65125 Украина, Одесса, ул. Пушкинская, 37

E-mail: yubogatova@mail.ru

Поступила в редакцию 27.04.2011 г.

По данным исследований 2004–2010 гг. выявлены особенности формирования гидрохимического режима взморья Дуная. Подтверждена роль взморья как “маргинального фильтра” на пути трансформации дунайской воды в северо-западную часть Черного моря. Показана роль донных отложений как источника вторичного эвтрофирования экосистемы.

Ключевые слова: гидрохимический режим, взморье, маргинальный фильтр, Дунай, Черное море

DOI: 10.7868/S0321059613030024

Изучение гидрохимического режима устьевых областей рек, которые часто называют “маргинальным фильтром” океана [18], где происходит смешение двух различных по химическому составу водных масс – речных и морских и скорости химических и биологических преобразований значительно выше, чем в открытом море, представляет значительный интерес для оценки уровня трофности этих высокопродуктивных районов.

Украинский участок взморья Дуная – обращенная к морю часть устьевой области реки, охватывающая район от края дельты Кикийского рука. (Кикийская дельта Дуная) до границы морских вод с соленостью около 17‰ [10, 11, 20]. Внешняя граница устьевого взморья – условная, а величина солености и площади с распресненными морскими водами зависят от величины стока Дуная и режима ветра. Дунайское взморье относится к приглубым [20], так как речные воды занимают верхний слой до 1–5 м, а поток пресных вод с увеличением глубины отрывается от дна.

Дунай, как главная река бассейна Черного моря, обеспечивает до 40% притока пресных вод в Черное море и до 80% – в его северо-западную часть. Для Дуная, сток которого формируется на водосборной площади почти в 817 тыс. км², характерна большая изменчивость абсолютных величин. Так, если в прошедшем столетии при среднемноголетней величине 203 км³/год величина стока Дуная

изменялась от 127 (1921 г.) до 297 км³/год (1941 г.), то в 2001–2010 гг. – от 158 (2003 г.) до 299 км³/год (2010 г.). Сток 2010 г. – максимальный за более чем вековой период наблюдений, а средняя величина стока за 2000–2010 гг. составляет 223 км³/год и почти на 10% превышает среднемноголетнее значение. Следует отметить, что вековые крупномасштабные гидротехнические работы в дельте Дуная по спрямлению румынских рукавов Сулинского и Георгиевского, строительство каменной насыпной поперечной дамбы в месте разделения Дуная на Тульчинский и Кикийский рукава привели к снижению доли последнего с 70% в начале XX в. до 52% в настоящее время [10, 11].

Начатое в 2004 г. строительство глубоководного судового хода “Дунай–Черное море” через рука. Быстрый в Кикийской дельте и его дальнейшая эксплуатация, связанные с дноуглубительными работами на 3-километровом участке в баровой области этого рукава (строительство морского подходного канала), возведение защитной дамбы для предотвращения заносимости морского подходного канала от влекомых наносов с севера вызвали некоторые изменения гидрологического режима украинского участка взморья.

Цель настоящей работы – выявление характерных закономерностей в изменчивости гидрохимического режима украинского участка взмо-

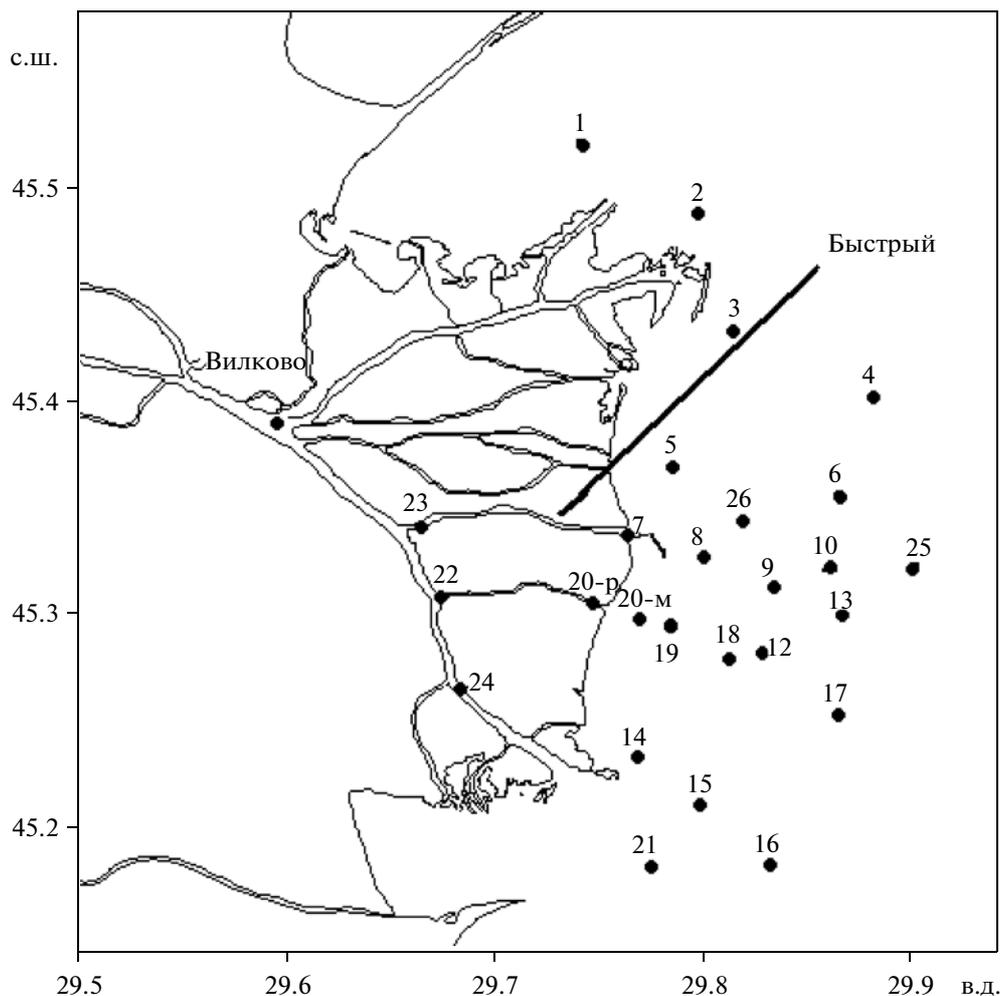


Рис. 1. Карта-схема района расположения станций мониторинга на взморье Килийской дельты Дуная в 2004–2010 гг. 1–26 – станции отбора проб.

рья Дуная и современная оценка трофического статуса экосистемы.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для анализа многолетней изменчивости гидрохимических параметров на украинском участке взморья Дуная были использованы данные предыдущих исследований [5–9] и материалы 15 экспедиций за 2004–2010 гг., которые выполнялись в рамках комплексной программы экологического мониторинга по влиянию украинского глубоководного судового хода “Дунай–Черное море” на окружающую природную среду. Исследования проводили в Килийской дельте и на прилегающем участке взморья по разработанной специально для экологического мониторинга схеме станций (рис. 1). Пробы воды отбирали батометрами Молчанова и Нискина [26], донных отложений – дночер-

пателем Петерсена [22] с площадью захвата 0.1 м². Определялись следующие показатели: минерализация воды, соленость, растворенный кислород и доля (%) его насыщения, величина рН, взвешенное вещество (**ВВ**), растворенные биогенные вещества (**БВ**) – минеральные и органические соединения азота и фосфора ($N-NH_4^+$, $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$, $N_{ОРГ}$, $N_{ВАЛ}$, $P-PO_4^{3-}$, $P_{ОРГ}$, $P_{ВАЛ}$), кремний, растворенное органическое вещество (**ОВ**) по перманганатной окисляемости (**ПО**). В поровых растворах донных отложений, которые получали вакуумной фильтрацией осадков через двойной фильтр “синяя лента”, определялись минеральные и органические соединения азота и фосфора, кремний, ПО. Методы определений – стандартные [19, 24, 25]. Всего было собрано и проанализировано около 550 проб воды, более 50 проб донных отложений.

Таблица 1. Многолетняя изменчивость БВ и ОВ в дельте Килийского рук. Дуная

Периоды, годы	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₂ ⁻	N-NO ₃ ⁻	N _{ОРГ}	P-PO ₄ ³⁻	P _{ОРГ}	Si	Сток, км ³ год ⁻¹
	мг дм ⁻³							
1948–1960 [1]	0.248	0.012	0.53	0.63	0.071	0.031	4.38	195.8
1970–1980 [15]	0.620	0.044	1.00	0.90	0.165	0.073	3.98	216.3
1980–1990 [16, 17]	0.508	0.139	1.38	4.07	0.257	0.107	2.78	192.8
1990–2000 [28]	0.084	0.045	0.88	4.39	0.085	0.067	2.24	207.4
2000–2010	0.029	0.056	0.89	3.38	0.190	0.056	2.11	222.8

Наиболее полно (весна, лето, осень) исследования проводили в 2005, 2008 и 2010 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Формирование гидрохимического режима взморья Дуная обусловлено поступлением и трансформацией дунайских вод, метеорологическими и гидрологическими условиями района, развитием гидробиологических процессов, для которых величина и качество водного стока являются определяющими факторами. Так, если поступающие с дунайскими водами ВВ формируют состав и распределение донных отложений на взморье, обогащают их минеральными и органическими соединениями, способствуют сорбции до 80–90% загрязняющих веществ, ограничивают развитие бактерио- и фитопланктона, то сток БВ формирует биологическую продуктивность района [5].

Сток ВВ, БВ и ОВ Дуная за последний более чем 50-летний период претерпел значительные изменения (табл. 1, 2). Так в начале XX в. твердый сток из Килийского рук. оценивался в 58 млн т год⁻¹, в 1987–2008 гг. в результате изъятия стока в пользу румынских рукавов, строительства плотин и водохранилищ в верхнем и среднем течении Дуная он сократился до 15 млн т год⁻¹ [3]. Максимальные значения ВВ отмечали в многоводные годы в период половодья и дождевых паводков в истоке и устье рук. Быстро, что может быть связано с увеличением расходов воды в этом развивающемся рукаве Килийской дельты [3].

Интенсификация сельского хозяйства и активное применение минеральных удобрений на водосборе Дуная привели к значительному увеличению в дунайской воде БВ в 1970–1980-е гг., когда в воде Килийской дельты отмечали макси-

мальные концентрации. В 1990-е гг. в результате снижения антропогенной нагрузки на водосборной площади и строительства крупных водохранилищ в среднем течении Дуная поступление в море нитратов, фосфатов, кремния сократилось, но увеличилось поступление органических соединений азота и фосфора [23]. В 2000–2010 гг. при величине водного стока выше среднемноголетней в Килийской дельте концентрации БВ и ОВ оставались достаточно высокими (табл. 1). Несмотря на то, что диапазон изменчивости концентраций БВ и ОВ в пределах одного года весьма значителен, максимальные значения этих веществ фиксировали в многоводные 2005 и 2010 гг., что обусловлено их поступлением с терригенным стоком.

Метеорологические и гидрологические условия района играют важную роль в формировании гидрохимического режима взморья, так как определяют трансформацию дунайских вод на акватории и сложную термогалинную структуру вод. Здесь формируются области значительных градиентов солености и температуры: на внешней границе – гидрофронт, на нижней – галоклин и термоклин. Вертикальная и горизонтальная стратификация водных масс, образование сезонного (весна–осень) слоя скачка плотности (пикно-

Таблица 2. Диапазон изменчивости содержания ВВ, мг дм⁻³, в годы с различной величиной водного стока в дельте Килийского рук. Дуная (1987–2008 гг.)

Ингредиент	Годы		
	маловодные	средние по водности	многоводные
ВВ, мг дм ⁻³	13.6–146.3	20.9–527.0	8.9–743.2

клина), связанное с адвекцией или дивергенцией водных масс, замедляют и затрудняют смешение речных и морских вод, способствуют горизонтальному распространению на взморье речных вод. Изменчивость метеорологических и гидрологических условий способствует формированию на взморье отдельных участков, кардинально отличающихся по гидрохимическим условиям [9, 23].

Дунайская вода на взморье растекается по поверхности “языками” в слое толщиной 1–3 м, реже до 5 м, тогда как нижние слои заполнены более солеными (до 17–18‰) водами. Вертикальная структура поля солености на взморье характеризуется в поверхностном слое колебаниями от 2 до 16‰ и почти постоянными значениями (18–19‰) в придонном слое на горизонтах более 15 м.

По характеру распределения солености воды на устьевом взморье Дуная выделяют [6, 12, 18, 28] следующие зоны: транзита пресных речных вод (соленость менее 2‰); фронтальную (2–8‰), в которой происходит основное смешение опресненных и морских вод; трансформированных речных вод (8–17‰); морских вод (более 17‰). Первая, третья и четвертая зоны характеризуются относительной стабильностью физико-химических показателей, а фронтальная – большим их разнообразием и изменчивостью. Эту зону часто называют зоной лавинной седиментации или геохимическим барьером река–море [5, 28], так как здесь происходят основные физико-химические процессы, характерные для “маргинального фильтра” [18].

Границы и площади этих зон изменяются в зависимости от величины речного стока и направления ветра на взморье. Так, в половодье на Дунае в зависимости от направления ветра условная граница взморья может удаляться от устьев крупных рукавов дельты на 20 км и более, а во время межени внешняя граница располагается на расстоянии до 2–3 км от края дельты. Максимальные горизонтальные градиенты солености воды находятся, как правило, на расстоянии 2–8 км от устьев крупных рукавов Килийской дельты.

Разделение взморья на участки по солености, предложенное В.С. Большаковым [4], при котором выделяются только три зоны: основная (соленость менее 10‰), гидрофронтальная (10–12‰) и заключительная (более 12‰), – не отражает в полной мере особенности распределения гидрохимических показателей на взморье в зоне лавинной седиментации, т.е. в диапазоне солености 2–8‰.

Следует отметить, что защитная дамба в устье рук. Быстрого препятствует распространению на взморье речных вод в северном направлении и перенос основной массы распресненных вод происходит на юг. Так, при северной и восточной составляющих направления ветра уже в районе оголовка дамбы происходит образование мощного гидрофронта, где перепад солености достигает 1‰ на 10 м. Здесь формируется зона лавинной седиментации, в которой содержание ВВ снижается в десятки, а БВ – в несколько раз. В межень при ветре этих же румбов в придонном горизонте по морскому подходному каналу происходит проникновение вод морского генезиса на всю длину рук. Быстрого.

Трансформация ВВ и БВ в дунайской воде начинается при замедлении течения в устьях рукавов дельты. Здесь в результате физико-химических процессов [5, 7–9, 12, 18, 28] происходит быстрое осаждение взвеси с сорбированными на ней веществами. На взморье при малых величинах солености воды (2–8‰) происходит интенсивная седиментация частиц крупнее 5–10 мкм, коагуляция мелких (2–5 мкм) глинистых частиц. В этом диапазоне солености на геохимическом барьере река–море происходит переход в донные отложения основного количества органических и неорганических компонентов стока Дуная. Такая соленость воды в поверхностном слое на взморье Дуная характерна до глубин 5 м в межень и до 15 м в половодье.

На взморье поведение растворенных компонентов биогенного стока Дуная может быть как “консервативным” (определяемым только разбавлением вод разной солености с различными концентрациями ингредиентов), так и “неконсервативным”. При “неконсервативном” поведении происходит удаление или добавление вещества в результате физико-химических и биологических процессов. Установлено, что в зоне лавинной седиментации концентрации ВВ, минеральных форм азота и кремния в воде резко снижаются, т.е. их поведение “консервативно” (рис. 2а, 2б). Распределение лабильных ОВ, определяемых по ПО, минеральных и органических соединений фосфора носит, напротив, “неконсервативный” характер, так как в диапазоне солености воды 2–8‰ отмечается рост концентраций. Это связано с десорбцией этих соединений из взвеси, которая содержит значительно большее количество фосфора и ОВ, чем их растворено в воде (рис. 2в, 2г). Наибольшие потери растворенных веществ на геохимическом барьере река–море происходят весной во время паводка на Дунае, когда в донные

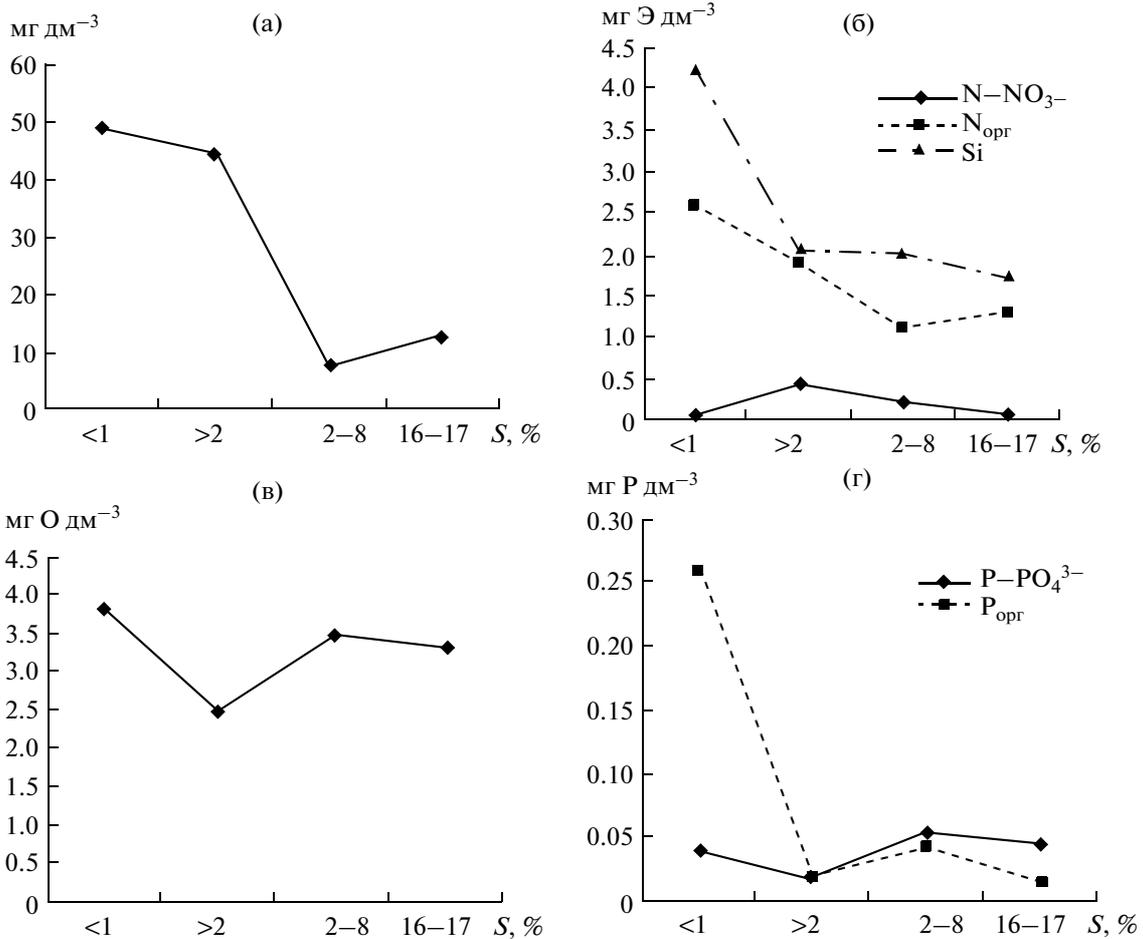


Рис. 2. Распределение БВ (а), нитратов, азота органического и кремния (б), ПО (в), фосфатов и фосфора органического (г) на взморье Килийской дельты Дуная в апреле 2010 г.

отложения взморья переходит до 75% аммонийного азота, около 50% нитритов и кремния, до 40% нитратов [28].

Биологические процессы на взморье – массовое развитие фито- и зоопланктона – способствуют дальнейшему снижению БВ и возрастанию в фотическом слое растворенного и взвешенного ОВ, так как сопровождаются биоассимиляцией, биоаккумуляцией и биофильтрацией. Эти процессы активно протекают в зоне с соленостью более 8‰, так как соленость 5–8‰ является критической для существования гидробионтов, что связано с ограниченной осмотической адаптацией как речных, так и морских организмов.

Развитие продукционных процессов на взморье в теплый период года, которое, как правило, сопровождается “цветением” воды, приводит к росту в поверхностном слое (до 5 м) содержания растворенного в воде кислорода и значений рН. В этот же период в придонном слое на взморье при

устойчивой летней плотностной стратификации водных масс, отсутствии перемешивания и нарушении диффузного обмена отмечается резкое ухудшение кислородных условий, связанное с минерализацией осевшего аллохтонного и автохтонного ОВ. На отдельных участках взморья, как правило за 20-метровой изобатой, к концу лета отмечают образование гипоксии, а в отдельных случаях – и аноксии (рис. 3). В целом придонная гипоксия имеет устойчивый характер, сохраняясь на отдельных участках до осени, а восстановление термогалинного и кислородного режима происходит в результате развития осенне-зимней вертикальной конвекции.

Колебания значений гидрохимических параметров на взморье Килийской дельты Дуная весьма значительны и носят ярко выраженный сезонный характер (табл. 3). Весной при наибольшей величине речного стока происходит увеличение концентраций БВ и ОВ во всех зонах взморья. Летом в ме-

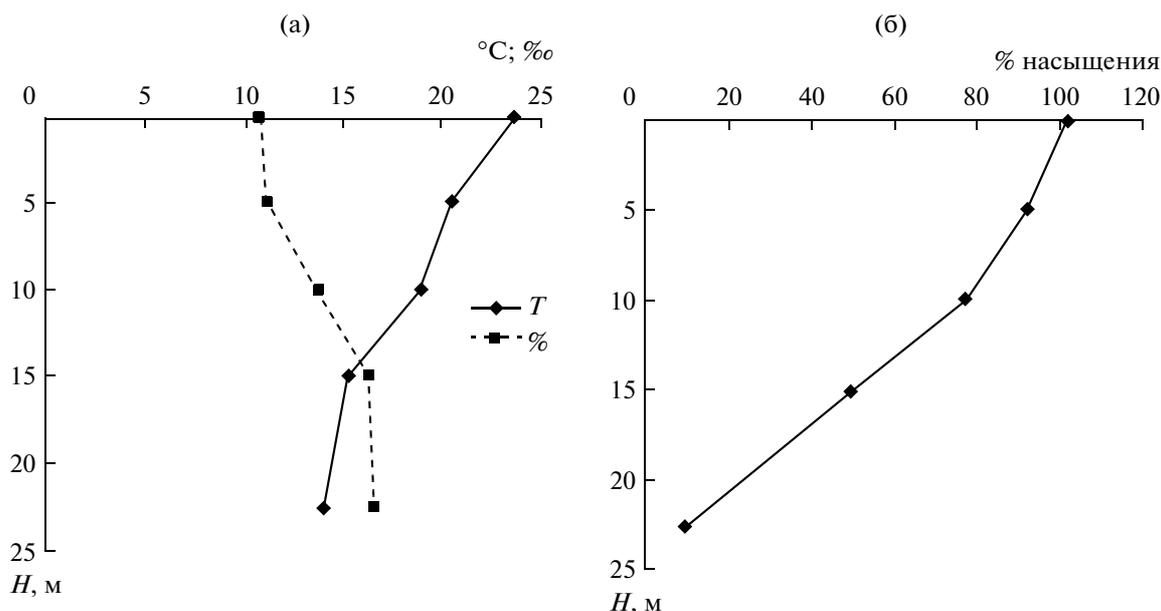


Рис. 3. Характерное распределение температуры, °С, солёности, ‰, (а) и насыщения воды кислородом, %, (б) на взморье Килийской дельты Дуная в сентябре 2005 г.

жень при снижении поступления БВ с речным стоком, во время активного развития продукционных процессов в зоне трансформированных речных вод с солёностью выше 8‰ концентрации минеральных соединений азота и фосфора, как правило, достигают минимальных значений (табл. 3). Эта закономерность не нарушалась и летом 2010 г., когда расходы воды в русловой части в июне–июле соот-

ветствовали расходам в половодье, которое на Дунае приходится на апрель–май. Осенью благодаря рециркуляции соединений азота и фосфора из ОВ во всех зонах взморья отмечается некоторое увеличение содержания БВ (табл. 3).

Мониторинг взморья Килийской дельты в 2004–2010 гг. показал, что по сравнению 1970–

Таблица 3. Сезонная изменчивость БВ и ОВ на взморье Килийской дельты Дуная в годы с различной величиной водного стока

Сезон	Сток, км ³	ПО, мг О дм ⁻³	N _{мин}	N _{орг}	P _{мин}	P _{орг}	Si
2005 г.							
Весна	90.3	3.31	0.375	1.23	0.011	0.050	2.69
Лето	75.3	2.31	0.384	0.66	0.038	0.004	2.35
Осень	57.2	2.52	0.144	0.65	0.029	0.030	1.26
Σ сток за год	269.4	—	—	—	—	—	—
2008 г.							
Весна	65.0	2.32	0.228	2.29	0.011	0.039	1.20
Лето	46.8	3.35	0.180	1.76	0.022	0.024	1.80
Осень	30.2	2.18	0.154	2.75	0.015	0.033	1.24
Σ сток за год	188.5	—	—	—	—	—	—
2010 г.							
Весна	84.1	3.23	0.237	2.99	0.015	0.018	1.95
Лето	89.0	3.05	0.133	0.92	0.011	0.029	1.55
Осень	52.1	11.27	0.292	0.97	0.025	0.016	1.83
Σ сток за год	299.4	—	—	—	—	—	—

Таблица 4. Многолетняя изменчивость БВ и ОВ (средние значения) на взморье Килийской дельты Дуная

Ингредиент	Горизонт	Периоды, годы		
		1994–1997	1987–2000	2004–2010
ПО, мг О дм ⁻³	Поверхностный	5.79	6.00	2.41
	Придонный	5.22	4.60	2.57
N-NH ₄ ⁺ , мг дм ⁻³	Поверхностный	0.020	0.037	0.040
	Придонный	0.043	0.054	0.039
N-NO ₂ ⁻ , мг дм ⁻³	Поверхностный	0.014	0.023	0.046
	Придонный	0.007	0.007	0.003
N-NO ₃ ⁻ , мг дм ⁻³	Поверхностный	0.136	0.220	0.345
	Придонный	0.029	0.050	0.275
N _{ОРГ} , мг дм ⁻³	Поверхностный	1.19	2.38	2.02
	Придонный	1.06	1.17	2.12
P-PO ₄ ³⁻ , мг дм ⁻³	Поверхностный	0.016	0.025	0.022
	Придонный	0.009	0.012	0.023
P _{ОРГ} , мг дм ⁻³	Поверхностный	0.015	0.024	0.027
	Придонный	0.011	0.017	0.018
Si, мг дм ⁻³	Поверхностный	0.54	0.86	2.23
	Придонный	0.53	0.85	1.97

1980 гг. (когда в этом районе северо-западной части отмечали пик развития эвтрофирования) уровень БВ и ОВ не снизился. Концентрации минеральных соединений азота и фосфора в водной толще взморья остались достаточно высокими, а в придонном горизонте отмечено накопление органических соединений азота, характерное для эвтрофных экосистем (табл. 4).

Исследования 2004–2010 гг. показали, что взморье Дуная, как “маргинальный фильтр”, утилизирует значительные количества растворенных и взвешенных БВ и ОВ, поступающих сюда с речными водами. Здесь за счет физико-химических процессов на геохимическом барьере река–море и ассимиляции БВ концентрации минеральных соединений азота и фосфора могут уменьшаться по сравнению с дельтой на порядок, особенно во время активного развития фотосинтеза. Однако значительного снижения растворенного ОВ, органических соединений азота и фосфора на взморье не отмечено, так как здесь происходит продуцирование нового ОВ – бактерио-, фито- и зоопланктона и рециклинг растворенного ОВ.

Концентрации органических соединений азота и фосфора на взморье всего лишь в 1.6 и 2.5 раза были ниже, чем в дельте. Концентрации БВ на взморье изменяются в широком диапазоне: 3.0–450.0 г м⁻³ в поверхностном и 3.0–280.0 г м⁻³ в придонном горизонтах, составляя в среднем для фотического слоя около 30 г м⁻³. В теплый период года, когда вегетация фитопланктона (основной вклад в БВ) максимальна, среднее значение составляет около 50 г м⁻³. Однако эти значения на порядок превышают данные для открытых районов северо-западной части Черного моря: среднемноголетнее значение для 1989–1991 гг. – 3 г м⁻³ [3].

Как и в предыдущие годы, для вод взморья характерно нарушение баланса основных биогенных элементов – азота и фосфора: форм соединений и соотношений между компонентами, что является подтверждением продолжающихся процессов эвтрофирования в экосистеме. Если в сбалансированных природных экосистемах, когда синтез ОВ находится в равновесии с его потреблением и деструкцией, соотношение N : P равно

Таблица 5. Многолетняя изменчивость (средние значения) БВ и ОВ в поровых растворах донных отложений взморья Килийской дельты Дуная

Годы	ПО, мг О дм ⁻³	N-NH ₄ ⁺	N-(NO ₂ ⁻ + NO ₃ ⁻)	N _{ОРГ}	P-PO ₄ ³⁻	P _{ОРГ}	Si
		мг дм ⁻³					
1979–1992	52.41	3.19	0.50	2.83	0.76	0.78	9.18
1994–1997	45.03	3.12	0.20	7.16	0.14	0.10	4.97
1998–2000	15.63	2.95	0.07	9.74	0.16	0.17	7.71
2004–2007	18.59	2.30	0.19	6.95	0.24	0.20	12.22

стехиометрическому соотношению в ОВ – 16 : 1 или близко к таковому, то для взморья Дуная это соотношение не соответствует стехиометрическому как до развития эвтрофирования, так и во время него. В настоящее время соотношение растворенных минеральных и органических форм азота и фосфора $N_{\text{ВАЛ}} : P_{\text{ВАЛ}}$ в фотическом слое взморья составляет 50 : 1, что связано с большим поступлением с водосборного бассейна соединений азота, чем фосфора. Соединения азота представлены в основном его органической составляющей – доля $N_{\text{ОРГ}}$ в общем балансе форм азота составляет более 80% для поверхностного слоя и около 90% для придонного. Деструкция растворенных органических соединений азота, приводящая к образованию минеральных форм (восстановленной – аммиака и окисленных – нитритов и нитратов), ведет к дальнейшему эвтрофированию вод взморья, так как вновь образовавшиеся минеральные соединения азота вступают в биотический круговорот.

Расчеты интегрального показателя трофности вод ТРИХ [32] для взморья Дуная, в котором используются данные по содержанию основных биогенных элементов – кислороду, азоту, фосфору, а также хлорофиллу “а”, показали, что значения индекса изменяются в интервале 5–7 [14] и характеризуют взморье как район с высоким уровнем трофности.

Особую роль в формировании гидрохимического режима взморья играют донные отложения – один из компонентов биогеохимического баланса экосистемы. Высокие темпы седиментации ВВ, осаждение БВ и ОВ в зоне лавинной седиментации и высокая биологическая продуктивность района способствуют накоплению ОВ и элементов биогенного цикла в тонкодисперсных осадках взморья, где активно развиваются диагенетиче-

ские (микробиальные и энзиматические) процессы [2, 23, 27–31]. Деструкция ОВ в донных отложениях в аэробных и анаэробных условиях, а также переработка их бентосными организмами в процессе жизнедеятельности обогащают донные отложения и поровые растворы донных отложений (скапливается вода в макро- и микрокапиллярных пространствах осадка, которая легко перемещается под действием сил тяжести) соединениями углерода, азота, фосфора, кремния.

Аэробная деструкция ОВ в донных отложениях приводит к образованию в донных отложениях и поровых растворах нитратов (нитрификация) и ортофосфатов, а в анаэробных условиях, при гипоксии или аноксии, – к образованию аммонийного азота и нитритов (аммонификация) и ортофосфатов. Скорости деструкции ОВ и оборот (рециклинг) БВ в донных отложениях зависят от температуры, содержания кислорода и жизнедеятельности микро- и макроорганизмов. Установлено, что основное количество подвижных БВ (93–98%) в поровых растворах находится в верхнем 10-сантиметровом слое донных отложений, что создает значительный градиент концентраций на границе “вода–дно” и способствует их миграции в воду [2].

Предыдущими исследованиями [5, 6, 28] поровых растворов донных отложений дунайского взморья было установлено, что содержание БВ и ОВ в них изменяется в большом диапазоне, но концентрации в них всегда на 1–2 порядка выше, чем в водных массах (табл. 5). Диффузия БВ и ОВ из поровых растворов донных отложений в придонный слой моря, усиливающаяся при развитии гипоксии, может вызывать вспышку развития фитопланктона даже под слоем скачка плотности, т.е. происходит вторичное эвтрофирование [5, 21, 28]. Рассчитано, что только в период разви-

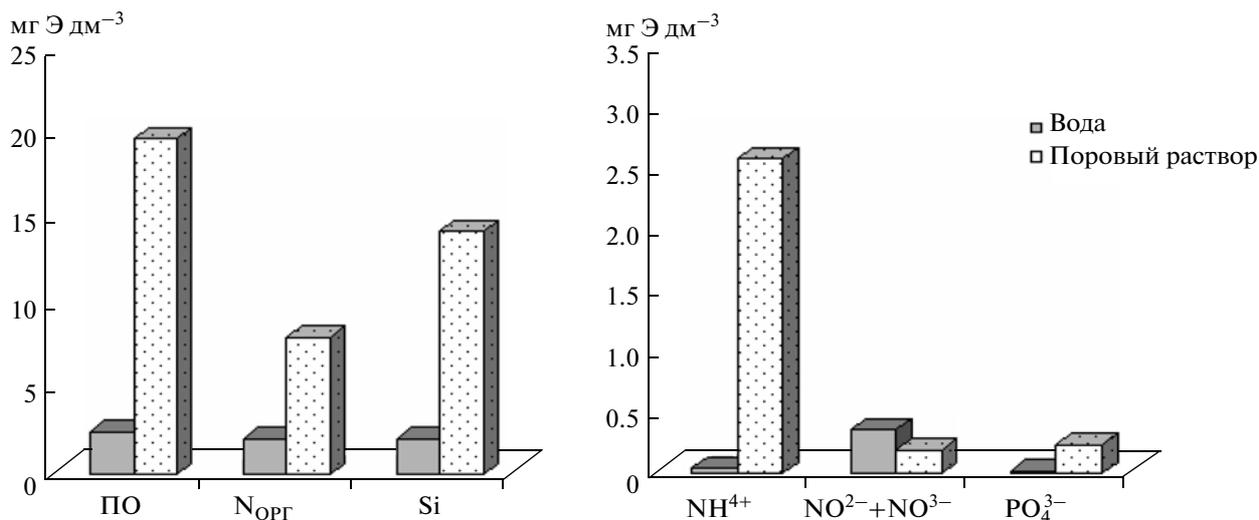


Рис. 4. Растворенные химические компоненты в водной толще и поровых растворах донных отложений на взморье Килийской дельты Дуная (средние значения за 2005–2007 гг.).

тия придонной гипоксии в течение месяца взморье Килийской дельты Дуная дополнительно получает из донных отложений 25–50 тыс. т аммонийного азота, 5–15 тыс. т ортофосфатов и 20–50 тыс. т кремния [28].

Анализ многолетней изменчивости содержания БВ и ОВ в поровых растворах донных отложений взморья показал стабильность высоких концентраций минеральных и органических соединений азота, ортофосфатов, кремния, лабильных ОВ, что может быть связано с ежегодным пополнением донных отложений новым автохтонным и аллохтонным ОВ и его неполной деструкцией (табл. 5; рис. 4).

Таким образом, значительный запас БВ и ОВ в донных отложениях взморья Дуная и диффузия этих соединений из поровых растворов на границе “вода–дно” – по-прежнему мощный источник вторичного эвтрофирования экосистемы.

ВЫВОДЫ

Формирование гидрохимического режима взморья Килийской дельты Дуная обусловлено поступлением дунайских вод, метеорологическими и гидрологическими условиями района, развитием гидробиологических процессов, из которых главные факторы – величина и качество стока. Изменчивость метеорологических и гидрологических условий, определяющих трансформацию дунайских вод и сложную термогалинную структуру (гидрофронт, сезонный пикноклин) на взморье, способствует формированию отдельных участ-

ков, кардинально различающихся по гидрохимическим условиям.

Изменчивость гидрохимических параметров на взморье Дуная носит ярко выраженный сезонный характер: максимальные концентрации минеральных и органических веществ отмечают, как правило, весной при максимуме стока, минимальные – летом в межень при снижении поступления БВ с речным стоком и активном развитии продукционных процессов. Осенью за счет деструкции и рециркуляции ОВ концентрации минеральных соединений несколько повышаются. К концу лета в придонном горизонте взморья, как правило, отмечают развитие гипоксии, связанное с накоплением и деструкцией отмершего ОВ фитопланктона в условиях плотностной стратификации водных масс.

Мониторинг взморья Килийской дельты в 2004–2010 гг. показал, что по сравнению 1970–1980 гг. (когда в этом районе северо-западной части отмечали пик развития эвтрофирования) уровень БВ и ОВ не снизился. Для экосистемы характерно нарушение баланса этих главных биогенных элементов, связанное с избыточным поступлением соединений азота с речным стоком и с нарушением баланса в синтезе и деструкции нового ОВ. Как во всех эвтрофных экосистемах, основная форма азота на взморье – азот органический, доля которого в общем балансе соединений азота составляет более 80% для поверхностного и около 90% – для придонного слоев. Деструкция растворенных органических соединений азота с образованием минеральных форм способствует

дальнейшему эвтрофированию вод взморья, так как они вновь вступают в биотический круговорот.

Взморье Дуная — “маргинальный фильтр” на пути трансформации дунайской воды в Черное море. Здесь за счет физико-химических процессов, биоассимиляции, биоаккумуляции и биофильтрации уровень растворенных минеральных соединений азота и фосфора по сравнению с дельтой снижается многократно, а уровень растворенных органических форм уменьшается незначительно за счет создания гиперпродукции живого аллохтонного ОВ.

Донные отложения взморья, аккумулировавшие значительные количества БВ и ОВ, пополняющиеся ежегодно, — мощный источник вторичного эвтрофирования экосистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алмазов А.М., Майстренко Ю.Г. Гидрологическая и гидрохимическая характеристика советского участка Дуная // Дунай и Придунайские водоемы в пределах СССР. Киев: Изд-во АН УССР, 1961. С. 13–36.
2. Батулин Г.Н., Шишкина О.В. Галогены, биогенные и рассеянные элементы в процессах обмена на границе раздела вода–дно на шельфах // Обмен химическими элементами на границах раздела морской среды. М.: Изд-во АН СССР, 1982. С. 126–129.
3. Богатова Ю.И. Взвешенное вещество в Килийской дельте и на взморье Дуная // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2009. Вып. 20. С. 241–247.
4. Большаков В.С. Трансформация речных вод в Черном море. Киев: Наук. думка, 1970. 328 с.
5. Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И. Гидрохимические исследования // Северо-западная часть Черного моря: биология и экология. Киев: Наук. думка, 2006. С. 59–86.
6. Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И. Минеральные и органические вещества в поровых растворах донных отложений украинской части взморья Дуная // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2007. Вып. 15. С. 528–540.
7. Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И., Берлинский Н.А. Особенности формирования гидрохимических условий украинской части устьевой области Дуная // Экосистема взморья украинской дельты Дуная. Одесса: Астропринт, 1998. С. 21–62.
8. Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И., Берлинский Н.А. Формирование гидрохимических условий на устьевом взморье Дуная // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2000. С. 133–141.
9. Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И., Гончаров А.Ю. Гидрохимический мониторинг взморья Килийского рукава Дуная в связи с созданием судового хода “Дунай–Черное море” через рукав Быстрый // Причерноморский Экологический бюллетень “Проблемы рационального использования ресурсов природных систем устьевой области Дуная и острова Змеиный”. Одесса, 2006. Ч. 1. С. 156–178.
10. Гидрология устьевой области Дуная. М: Гидрометиздат, 1963. 384 с.
11. Гидрология дельты Дуная. М.: ГЕОС, 2004. 448 с.
12. Гордеев В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии. М.: Наука, 1983. 159 с.
13. Денисова А.И., Нахшина Е.П., Новиков Б.И., Рябов А.К. Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды. К.: Наук. думка, 1987. 164 с.
14. Дятлов С.С., Нікулін В.В., Петросян А.Г. и др. Результаты эколого-токсикологического мониторингу судового ходу Дунай–Черное море у 2008 р. // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. В. Гнатюка. Сер.: Біологія. Спец. Вип. Гідроекологія. 2010. № 3 (44). С. 82–84.
15. Енаки И.Г., Вискушенко О.И. Особенности гидрохимического режима устьевой части Дуная в условиях сокращения и перераспределения речного стока // Гидробиол. журн. 1977. Т. XIII. № 6. С. 76–81.
16. Енаки Г.И. Гидрохимический режим советского участка Дуная // Гидробиологические исследования Дуная и придунайских водоемов. Киев: Наук. думка, 1987. С. 14–26.
17. Енаки Г.И., Журавлева Л.А. Гидрохимический режим // Гидроэкология украинского участка Дуная и сопредельных водоемов. Киев: Наук. думка, 1993. С. 23–40.
18. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
19. Методы гидрохимических исследований океана. М.: Наука, 1978. 261 с.
20. Михайлов В.Н. Гидрология устьев рек. М.: Изд-во МГУ, 1998. 176 с.
21. Нестерова Д.А. Пространственно-временная изменчивость фитопланктона Жебриянской бухты // Экосистема взморья украинской дельты Дуная. Одесса: Астропринт, 1998. С. 159–181.
22. Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 725 с.
23. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. С. 22.
24. Руководство по химическому анализу морских вод. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 263 с.
25. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 532 с.
26. Хорн Р. Морская химия (структура воды и химия гидросферы). М.: Мир, 1972. С. 275–326.

27. *Шушкина О. В.* Геохимия морских и океанических иловых вод. М.: Наука, 1972. 228 с.
28. *Berlinsky N., Bogatova Yu., Garkavaya G.* Estuary of the Danube // The Handbook of Environmental Chemistry. V. 5. Water Pollution. Pt. H. Estuaries. Berlin: Springer, 2006. P. 233–264.
29. *Friedel G.* Benthic fluxes of nutrients in the northwestern Black Sea // Marine Chemistry. 1998. V. 62. P. 77–88.
30. *Friedrich J.* Benthic nutrient cycling and diagenetic pathways in the North-western Black Sea // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2002. V. 54. P. 369–383.
31. *Rutgersvan Loeff M.M.* The asphyxiation technique: An approach to distinguish between molecular diffusion and biologically mediated transport at the sediment-water interface // Limnology and Oceanography. 1984. V. 29. P. 275–326.
32. *Vollenveider R.A.* Characterization of trophic conditions of marine coastal waters, with special reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a trophic scale: turbidity and generalized water index // Environmetrics. 1998. № 9. P. 329–357.