

УДК 262.5 (551.464)

Ю.И.Богатова

Одесский филиал Института биологии южных морей НАН Украины, г.Одесса

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ г.ОДЕССЫ В 2009 – 2010 гг.

По данным еженедельного мониторинга в районе м.Ланжерон в 2009 – 2010 гг. выявлены особенности формирования гидрохимических условий в прибрежной зоне Одесского района северо-западного шельфа Черного моря. Установлено, что основное воздействие на формирование гидрохимического режима в прибрежной зоне оказывают: режим ветров, определяющий циркуляцию водных масс, количество и качество поступающих вод из Днепровско-Бугской эстуарной области – основного источника соединений азота и фосфора в прибрежной зоне, сезонное развитие биологических процессов и климатические особенности года.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *прибрежная зона, гидролого-гидрохимические условия, сезонное развитие биологических процессов, эвтрофирование.*

Северо-западный шельф Черного моря, в силу географических, климатических и гидролого-гидрохимических особенностей, является наиболее продуктивным районом моря. Морской континентальный климат (среднегодовая температура воздуха 10,3 °С), сезонная изменчивость ветрового режима, мелководность района (изобата 50 м ограничивает район с юга) и значительный запас биогенных веществ, поступающих с природными и антропогенными источниками, создают здесь особые условия для жизни гидробионтов.

Одесский район – акватория от Григорьевского до Сухого лиманов, ограниченная с востока изобатой 20 м, значительно отличается от других районов северо-западного шельфа по уровню биогенных веществ, необходимых для развития биологических процессов [1]. Воды Одесского района характеризуется высоким уровнем трофности, здесь, как и на всем северо-западном шельфе, уже более 30 лет регулярно отмечают «цветение» воды и заморы донных организмов [1].

Основными источниками биогенных веществ в этом районе являются: сток рек Днепра с Южным Бугом и Днестра, поступающий в море через Днепровско-Бугский и Днестровский лиманы, коммунально-бытовые стоки Одессы, атмосферные осадки, терригенный и дренажный стоки.

Несмотря на большие различия в объеме поступающих из лиманов водных масс – около 50 км³·год⁻¹ из Днепровско-Бугского лимана и около 10 км³·год⁻¹ из Днестровского, содержание в них минеральных и органических веществ сопоставимо. Стоки зарегулированных Днепра с Южным Бугом и Днестра формируются на густонаселенной и урбанизированной территории, а на водохранилищах и в Днепровско-Бугском и Днестровском лиманах ежегодно отмечают «цветение» воды, следствием которого становится увеличение поступления в море не минеральных, а растворенных и взвешенных органических соединений.

Коммунально-бытовые стоки мегаполиса Одесса (до 20 млн. м³·год⁻¹),

© Ю.И.Богатова, 2011

атмосферные осадки (среднегогодовое значение $440 \text{ мм}\cdot\text{год}^{-1}$), терригенный и дренажный сток ($25 \text{ млн. м}^3\cdot\text{год}^{-1}$) в прибрежную зону также привносят дополнительное количество аллохтонных веществ, насыщенных соединениями *P* и *N*.

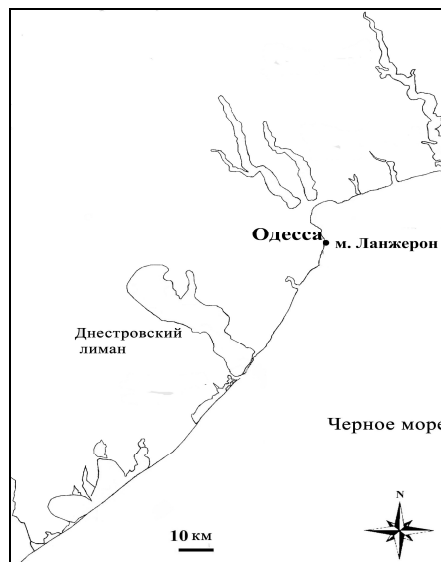
Отсутствие ежегодных сезонных исследований в акватории за уровнем биогенных веществ, формирующих биологическую продуктивность экосистемы, стимулировало проведение многолетнего еженедельного мониторинга в доступной для исследований точке побережья. В качестве точки мониторинга был выбран открытый траверс волнолома на м.Ланжерон, ограничивающий Одесский залив с юга (рис.1). Это участок береговой зоны Одессы, где проявляется влияние трансформированных водных масс из Днепровско-Бугской эстуарной области – основного источника поступления аллохтонных веществ в район.

Целью работы было изучение внутригодовой изменчивости уровня биогенных веществ, участвующих в создании нового органического вещества, выявление природных и антропогенных факторов, влияющих на развитие процессов эвтрофирования в районе.

Исходные данные и методика исследования. Еженедельный мониторинг качества водной среды был начат 3 марта 2009 г. и продолжается по настоящее время. В 2009 – 2010 гг. было собрано 102 пробы воды, в которых стандартными методами определяли: температуру, соленость, растворенное органическое вещество (РОВ по перманганатной окисляемости), минеральные и органические формы азота и фосфора, кремний [2, 3]. Для оценки связей между гидрологическими, гидрохимическими и гидробиологическими показателями одновременно проводили отбор проб фитопланктона.

Результаты исследований и их обсуждение. Для анализа полученных гидрохимических данных было проведено ранжирование показателей по сезонам, т.к. известно, что температура воды является одним из определяющих факторов формирования гидрохимической структуры вод и биологической продуктивности района. Ранее было установлено, что гидрологические сезоны запаздывают по отношению к климатическим, т.к. воды моря прогреваются и охлаждаются значительно медленнее, чем воздух и суша, и в годовом ходе температуры поверхностных водных масс выделяются четыре гидрологических сезона: зима (декабрь – март), весна (апрель – май), лето (июнь – сентябрь), осень (октябрь – ноябрь) [4].

Концентрации основных гидрохимических показателей в прибрежной зоне Одессы характеризовались значительной сезонной изменчивостью,



Р и с . 1 . Схема расположения станции еженедельного мониторинга в прибрежной зоне г.Одессы в 2009 – 2010 гг.

которая определялась метеорологическими и океанографическими факторами. Было установлено, что основная роль в формировании гидрохимического режима прибрежной зоны Одессы принадлежит ветру, определяющему циркуляции водных масс – вдольбереговой перенос трансформированных водных масс из Днепровско-Бугской эстуарной области и водообмен с центральной частью северо-западного шельфа. Так, зимой, весной и осенью в районе Одессы, когда преобладает ветер северных и восточных румбов, усиливается перенос водных масс из Днепровско-Бугской эстуарной области, летом – при ветрах южных и западных румбов, напротив, усиливается поступление поверхностных вод открытой части шельфа, а летом при апвеллинге – глубинных холодных и соленых водных масс. При этом значения температуры воды, солёности и гидрохимических показателей могут

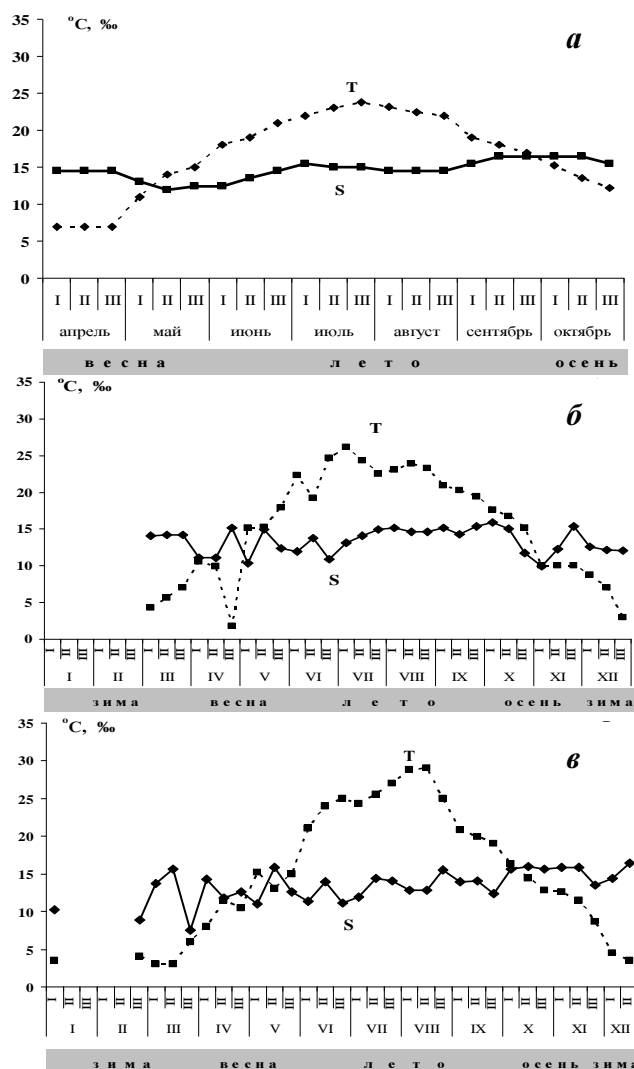


Рис. 2. Изменчивость температуры и солёности поверхностных вод в прибрежной зоне г.Одессы: многолетняя (а), 2009 г. (б) и 2010 г. (в).

изменяться в течение нескольких часов.

Мониторинг 2009 – 2010 гг. выявил особенности в сезонном распределении температуры и солёности в прибрежной зоне, которые несколько отличаются от среднемноголетних (1948 – 1963 гг.) данных [5] (рис.2).

Если по среднемноголетним данным максимальная за год температура поверхностного слоя составляла 23,8 °С и соответствовала третьей декаде июля, то в 2009 г. уже в третьей декаде июня температура поверхностного слоя воды достигала 25 °С, в третьей декаде июля 26,1 °С. В 2010 г. ранний прогрев распресненных поверхностных водных масс начался уже в апреле, и в первой декаде мая температура воды составляла более 15 °С, в первых числах июля около 25 °С, максимальную температуру (30,2 °С) при штилевой погоде фиксировали с 9 по 18 августа (рис.2).

Годовой диапазон значений солености воды в прибрежной зоне, по сравнению со среднемноголетними данными, заметно возрос. Если по среднемноголетним данным соленость в районе Одессы в течение года изменялась в интервале 12,0 – 16,5 ‰, то в 2009 г. диапазон изменчивости солености составил 9,9 – 15,9 ‰, а в 2010 г. 5,5 – 16,5 ‰. Минимальные значения солености в 2009 г. отмечали в третьей декаде июня, а в 2010 г. в третьей декаде марта, когда проводили сброс воды с каскада Днепровских водохранилищ после аномальной по количеству осадков зимы 2009 – 2010 гг. Минимальные значения солености воды фиксировали при ветрах северных румбов, когда усиливается перенос трансформированных распресненных водных масс из Днепровско-Бугской эстуарной области.

Анализ основных гидрохимических показателей за 2009 и 2010 гг. показал значительную изменчивость диапазона и средних значениях концентраций растворенных органических веществ и соединений *N*, *P*, *Si* (табл.1, рис.3, 4). Это связано как с поступлением перечисленных соединений в район с природными и антропогенными источниками, так и с климатическими особенностями года и скоростью развития продукционно-деструкционных процессов в экосистеме.

Анализ материала показал, что весной 2009 г. из Днепровско-Бугской эстуарной области в район Одессы поступали воды с высоким содержанием минеральных соединений азота и фосфора, фосфора органического, растворенного органического вещества и кремния (рис.3; 4, б; 4, в). Они обеспечивали летнее развитие продукционных процессов, когда уровень биогенных соединений снижался до

минимальных в течение года значений. Высокие температуры воды в летний период способствовали быстрому рециклингу фосфорорганических соединений и лабильного органического вещества, содержание которых оставалось стабильно низким. С началом осеннего конвективного перемешивания, когда в район поступали более соленые воды открытой части шельфа, во время затухания продукционных процессов в прибрежье отмечен значительный рост содержания минеральных и органических соединений азота.

В 2010 г. при сбросе воды из водохранилищ Днепровского каскада с третьей декады марта до конца мая в Одесский район поступали распресненные воды (соленость < 12 ‰), с высоким содержанием минерального азота (до 0,075 мгN·дм⁻³) и растворенных органических веществ. Высокие температуры воздуха обеспечили ранний прогрев водных масс и активное

Т а б л и ц а 1. Диапазон изменчивости и средние значения некоторых гидрохимических показателей в районе м.Ланжерон в 2009 – 2010 гг.

показатель	2009 г.	2010 г.
РОВ, мгО·дм ⁻³	<u>0,093</u> – 4,14 2,70	<u>0,56</u> – 8,05 3,14
<i>N</i> _{мин} , мгN·дм ⁻³	<u>0,021</u> – 0,394 0,111	<u>0,009</u> – 0,223 0,071
<i>N</i> _{орг} , мгN·дм ⁻³	<u>0,10</u> – 1,97 0,95	<u>0,10</u> – 5,01 1,11
<i>P</i> _{мин} , мгP·дм ⁻³	<u>0,003</u> – 0,033 0,022	<u>0,001</u> – 0,047 0,015
<i>P</i> _{орг} , мгP·дм ⁻³	<u>0,002</u> – 0,033 0,015	<u>0,001</u> – 0,068 0,023
<i>Si</i> , мг·дм ⁻³	<u>0,96</u> – 3,22 1,52	<u>0,47</u> – 2,53 1,39

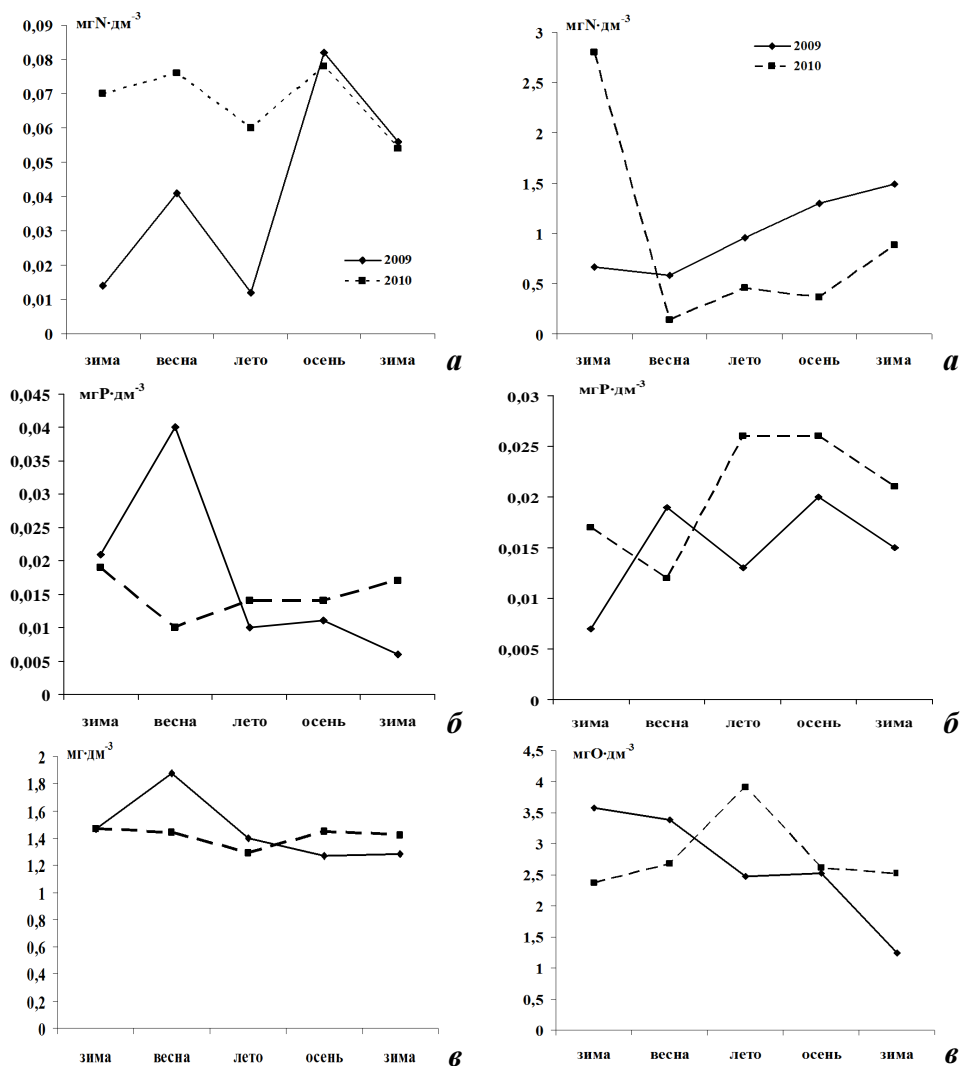


Рис. 3. Сезонная изменчивость содержания минерального азота (а), минерального фосфора (б) и кремния (в) в районе м.Ланжерон в 2009 – 2010 гг.

Рис. 4. Сезонная изменчивость содержания азота органического (а), фосфора органического (б) и растворенного органического вещества (в) в районе м.Ланжерон в 2009 – 2010 гг.

развитие процессов фотосинтеза в течение всего лета, которое сопровождалось снижением содержания минеральных форм азота и кремния при продуцировании нового органического вещества, образованием лабильных растворенных органических соединений и органического фосфора – продуктов жизнедеятельности фито- и зоопланктона. Аномально высокая температура воды и отсутствие ветрового перемешивания в июле – августе 2010 г. способствовали быстрому рециклингу органических соединений в минеральные, которые вновь вовлекались в биотический круговорот, стимулируя развитие фотосинтеза. По данным к.б.н., с.н.с. ОФ ИнБЮМ Л.М.Теренько,

только в течении мая – сентября в районе отмечено 11 случаев массового развития фитопланктона, достигающих уровня «цветения» воды. В отличие от предыдущего года в 2010 г. в прибрежной зоне Одессы летом не отмечено накопления трудноминерализуемых органических соединений азота (рис.4, а), уровень которых начал повышаться только к концу октября, а высокий уровень лабильных органических веществ летом (рис.4, в) связан с активным развитием фотосинтеза. Такие процессы протекали не только в прибрежной зоне моря, а и в открытой части шельфа, т.к. осенью с поступлением в район вод морского генезиса (соленость > 16 ‰) в прибрежной зоне отмечали стабильно высокие концентрации лабильных органических соединений. Следует отметить, что среднее содержание лабильных органических соединений в 2010 г. превышало значения 2009 г. (табл.1).

Следует отметить, что в период проведения мониторинга в районе не было отмечено аномально высоких концентраций минеральных и органических соединений азота и фосфора, что можно объяснить их утилизацией фитопланктоном и большой динамикой вод вблизи м.Ланжерон. Большая рекреационная нагрузка летом в узкоприбрежной зоне моря не приводила к увеличению содержания соединений азота (известны случаи уренизации рекреационных зон моря) в районе исследований. Влияния других антропогенных источников – вблизи мыса находится 2 штольни сброса дренажных вод г.Одессы, расходы которых составляют 25 – 75 и 80 – 10000 м³·сут⁻¹ [6] – не оказывают существенного воздействия на формирование качества водной среды также из-за большой гидродинамической активности вблизи м.Ланжерон.

Сравнение полученного материала с данными за период 1975 – 1995 гг., когда исследования проводили в закрытых и открытых акваториях пляжной зоны г.Одессы, показало, что уровень минеральных соединений азота и фосфора за анализируемые периоды был достаточно стабилен. Однако уровень органических соединений азота и фосфора в прибрежной зоне увеличился в 4 и 2 раза соответственно (табл.2).

В прибрежной зоне отмечают нарушение природных соотношений главных биогенных элементов, участвующих в создании нового органического вещества – азота и фосфора. Так, соотношение $N_{\text{МИН.}} : P_{\text{МИН.}}$ снизилось с 7:1 в 1975 – 1995 гг. до 5:1 в 2009 – 2010 гг., соотношение $N_{\text{ОРГ.}} : P_{\text{ОРГ.}}$, напротив, возросло с 22:1 до 54:1. Такие изменения в соотношениях минеральных форм азота и фосфора свидетельствуют о резком дефиците минеральных соединений азота и о постоянном пополнении запасов минерального фосфора. Рост соотношения органических форм азота и фосфора свидетельствует о нарушении баланса в синтезе и деструкции органического вещества, т.е. о развивающихся в экосистеме процессах эвтрофирования.

Выводы. 1. Установлено, что основная роль в формировании гидрохимического режима прибрежной зоны Одессы принадлежит ветру, определяющему циркуляции водных масс – вдольбереговой перенос трансформированных водных масс из Днепровско-Бугской эстуарной области и водообмен с центральной частью северо-западного шельфа.

2. Еженедельный мониторинг показал, что годовой диапазон показателей термохалинной структуры вод, по сравнению со среднемноголетними значениями, заметно возрос.

Таблица 2. Средние значения минеральных и органических соединений в прибрежной зоне г.Одессы.

сезон	Р _{ОВ} , мгО·дм ⁻³	N _{МИН} , мгN·дм ⁻³	N _{ОРГ} , мгN·дм ⁻³	P _{МИН} , мгP·дм ⁻³	P _{ОРГ} , мгP·дм ⁻³	Si, мг·дм ⁻³
1975 – 1995 гг. (прибрежная зона г.Одессы)						
зима	–	0,089	0,29	0,016	0,011	–
весна	–	0,165	0,23	0,008	0,007	1,79
лето	–	0,021	0,12	0,009	0,008	–
осень	–	0,056	0,15	0,014	0,008	–
среднее		0,083	0,20	0,012	0,009	
2009 – 2010 гг. (м.Ланжерон)						
зима	2,43	0,081	1,43	0,015	0,015	1,41
весна	3,04	0,087	0,96	0,025	0,015	1,66
лето	3,19	0,089	0,70	0,012	0,019	1,35
осень	2,57	0,081	0,82	0,012	0,023	1,36
среднее	2,81	0,085	0,98	0,016	0,018	1,45

3. Установлено, что формирование гидрохимического режима в прибрежной зоне в районе г.Одессы происходит под воздействием трансформированных водных масс, поступающих из Днестровско-Бугской эстуарной области. Величина стока и его ионный состав оказывают влияние на гидрохимические характеристики и уровень биологической продуктивности вод.

4. Такие антропогенные источники соединений азота и фосфор, как дренажный сток, рекреационная нагрузка – не значимые факторы в формировании гидрохимического режима вблизи м.Ланжерон, что объясняется большой динамикой вод.

5. Аномальная по количеству осадков зима 2009 – 2010 гг., сброс весной 2010 г. воды из водохранилищ Днепровского каскада обеспечили за период с марта по май поступление в прибрежную зону Одессы распресненных водных масс из Днепровско-Бугского лимана с высоким содержанием растворенных минеральных и органических веществ. Аномально высокие температуры воздуха в июне-августе обеспечили ранний прогрев водных масс и активное развитие процессов фотосинтеза, способствовали быстрому рециклингу органических соединений азота и фосфора в минеральные, которые вовлекались в биотический круговорот, вновь стимулируя развитие фотосинтеза. Отличительной чертой лета 2010 г. было активное развитие продукционно-деструкционных процессов, которое не приводило к накоплению трудноминерализуемых органических соединений азота в прибрежной зоне.

6. Анализ ретро данных за 1975 – 1995 гг. и результатов еженедельного мониторинга 2009 – 2010 гг. показал, что при достаточно стабильном за анализируемые периоды уровне минеральных соединений азота и фосфора уровень органических соединений указанных элементов в прибрежной зоне увеличился в 4 и 2 раза соответственно.

7. В прибрежной зоне отмечено нарушение природных соотношений главных биогенных элементов – азота и фосфора, участвующих в создании нового органического вещества. Изменения в соотношениях минеральных форм азота и фосфора свидетельствуют о резком дефиците минеральных соединений азота, а рост соотношения органических форм этих элементов свидетельствует о развивающихся в прибрежной зоне процессах эвтрофирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И., Гончаров А.Ю.* Гидрохимические исследования // Северо-западная часть Черного моря: биология и экология.– Киев: Наукова думка, 2006.– С.60-86.
2. *Методы гидрохимических исследований океана.*– М.: Наука, 1978.– 261 с.
3. *Руководство по химическому анализу морских вод РД 52.10.243-92.*– С.-Пб.: Гидрометеиздат, 1993.– 263 с.
4. *Адобовский В.В., Доценко С., Михалечко Ю.Е.* Особенности термохалинной изменчивости вод в прибрежной зоне Одесского региона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000.– С.127-132.
5. *Виноградов К.А., Розенгурт М.Ш., Толмазин Д.М.* Атлас гидрологических характеристик северо-западной части Черного моря.– Киев: Наукова думка, 1966. – 47 с.
6. *Адобовский В.В., Никаноров В.А.* Дренажные воды как фактор гидрологического режима береговой зоны моря // Міжнар. наук.-практ. конференція «Екологічні проблеми Чорного моря» (31.05-1.06 2007 р., м.Одеса).– Одеса: ІНВАЦ, 2007.– С.3-7.

Материал поступил в редакцию 5.10.2011 г.

АНОТАЦІЯ. По даним щотижневого моніторингу в районі мису Ланжерон в 2009 – 2010 рр. виявлені особливості формування гідрохімічних умов в прибережній зоні Одеського району північно-західного шельфу Чорного моря. Установлено, що головний вплив на формування гідрохімічного режиму в прибережній зоні мають: режим вітрів, що визначає циркуляцію водяних мас, кількість та якість води, що надходить з Дніпровско-Бугзької естуарної області – головного джерела сполук азоту та фосфору в прибережній зоні, сезонний розвиток біологічних процесів та кліматичні особливості року.

ABSTRACT. The specific factors responsible for the peculiar hydrochemical conditions in the coastal zone of Odessa region (north-western shelf of the Black Sea) were determined using data from the weekly monitoring in the Lanzheron cape region in 2009 – 2010. The hydrochemical regime in the coastal zone is mainly influenced by: the winds mode (defining water masses circulation), the quantity and quality of the waters entering from the Dneprovsko-Bugskiy estuary zone (which are the main source of nitrogen and phosphorus to the coastal zone), the seasonal variability of the biological processes and the climate peculiarities of the year.