

УДК 551.465.72

**Е. И. Газетов**, науч. сотр.,**В. И. Мединец**, канд. физ.-мат. наук, руководитель центра,  
Одесский национальный университет имени И.И.Мечникова,  
пер. Маяковского, 7, г. Одесса, 65082, Украина,  
gazetov@gmail.com

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОСНОВНЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКИХ ВОД ВБЛИЗИ ОСТРОВА ЗМЕИНЫЙ В 2004-2013 ГГ.**

Приведены и проанализированы результаты наблюдений, которые проводились в 2004-2013 гг. морской научно-исследовательской станцией «Остров Змеиный» (скорость и направление ветра, температура воздуха, прозрачность, температура, соленость, содержание кислорода и водородный показатель в морской воде) и Дунайской гидрометеорологической обсерваторией (водный сток р. Дунай). Оценена степень влияния стока р. Дунай и ветрового режима на основные физико-химические характеристики водной среды в районе о. Змеиный. Оценены корреляционные (статистические) взаимосвязи основных физико-химических характеристик прибрежных вод о. Змеиный со стоком р. Дунай и скоростью ветра при различных его направлениях.

**Ключевые слова:** прибрежные морские воды, Черное море, остров Змеиный, сток реки Дунай, физико-химические характеристики

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Кризисное состояние ряда европейских морей послужило причиной принятия Водной рамочной директивы ЕС [13], Рамочной директивы ЕС по Морской стратегии [14], Конвенций о защите Черного и Балтийского морей [11, 12], которыми определено, что для них первоочередной задачей научного сообщества является разработка национальных и региональных стратегий и программ улучшения экологической ситуации. Базой для конкретных планов действий должна быть объективная информация о влиянии природных и антропогенных факторов на состояние морской среды. Оценки состояния и экологического статуса водных объектов проводятся по значениям физико-химических, гидроморфологических и биологических элементов качества Водной рамочной директивы [13], либо по соответствующим индикаторам для 11 дескрипторов Рамочной директивы по морской стратегии [14].

Черное море, по оценкам ученых [6, 7], находится в самом кризисном состоянии из всех европейских морей. При этом особое место занимает северо-западная часть Черного моря, в которую впадают четыре больших реки – Дунай, Днепр, Днестр и Южный Буг, вносящие 74,6, 20,6, 3,8 и 1,0 % от общего речного стока соответственно, что в сумме составляет 255,7 км<sup>3</sup> в год [18]. В этой

связи, оценка характера и масштабов воздействия речного стока на морские экосистемы устьевых областей Черного моря представляет особый интерес. В предыдущие годы отдельные исследования эффектов взаимодействия речных дунайских и морских вод по результатам экспедиционных исследований проводились учеными Украины [2, 9] и Румынии [10, 16]. Особо следует выделить монографию Украинского центра экологии моря [5], в которой проведено обобщение результатов экспедиционных исследований за 1990-2005 гг. Однако, нерегулярность проведения экспедиций во времени и пространстве не позволяла в полной мере изучить сезонный ход процессов взаимодействия и трансформации речных и морских вод. Географическое положение и удаленность от антропогенных источников загрязнения острова Змеиный, на котором в 2003 году была создана и до настоящего времени функционирует морская научно-исследовательская станция (МНИС) «Остров Змеиный» Одесского национального университета имени И.И. Мечникова (ОНУ), создают уникальную возможность для исследования изменений физико-химических характеристик морских вод у острова под влиянием различных природных факторов. При этом следует отметить, что количественные оценки влияния водного стока р. Дунай и ветрового режима на физико-химические характеристики морских вод непосредственно вблизи о. Змеиный ранее не проводились, хотя по результатам наших исследований известно, что под влиянием речного стока в этом районе эпизодически наблюдаются значительные вариации величин солёности, уровня моря и биологических характеристик прибрежных вод [4, 8, 17].

Целью настоящей работы является исследование изменчивости физико-химических характеристик морских вод в результате воздействия водного стока р. Дунай и ветрового режима в районе о. Змеиный в 2004-2013 гг.

Основные задачи исследования были следующие: анализ сезонных и межгодовых закономерностей для основных гидролого-гидрохимических параметров вод в районе о. Змеиный в 2004-2013 гг.; поиск корреляционных взаимосвязей указанных параметров с водным стоком р. Дунай и скоростью ветра; выяснение зависимости указанных параметров от воздействия различных водных масс, проникающих в исследуемый район.

Объект исследования – воды Черного моря вблизи острова Змеиный. Предметом исследования являются статистические взаимосвязи основных физико-химических характеристик прибрежных морских вод острова Змеиный с водным стоком р. Дунай и ветровым режимом.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В качестве исходных данных нами использованы результаты метеорологических (скорость и направление ветра, температура воздуха) и гидролого-гидрохимических наблюдений и измерений (температура, прозрачность, солёность, концентрация и относительное содержание кислорода, водородный показатель), проведенных в прибрежных водах у острова Змеиный вахтовым

персоналом МНИС «Остров Змеиный» в 2004-2013 гг. Нами также использованы среднемесячные значения водного стока р. Дунай на посту «Рени», которые детально проанализированы в работе [4]. Расположение всех вышеназванных станций наблюдений приведено на рис. 1.

Метеорологические наблюдения и измерения физико-химических параметров в море проводились в соответствии с методологией экспедиционных исследований, описанной в монографии [8]. Скорость ветра измеряли анемометром МС-13; направление ветра – с использованием модификации флюгера Вильда; температуру воздуха – аспирационным психрометром МВ-4М; относительную прозрачность воды – диском Секки; уровень моря – водомерной рейкой; температуру воды – глубоководным термоглубомером ТГМ; электропроводность воды – кондуктометром Mettler Toledo «МС226»; соленость – расчетным путем по формулам ЮНЕСКО; концентрацию и относительное содержание кислорода – оксиметром «НІ9143»; водородный показатель – рН-метром «Hydrus 100».

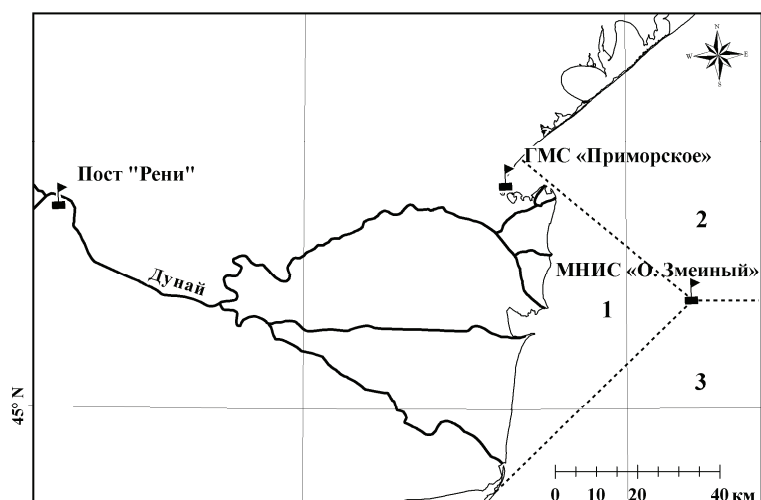


Рис. 1. Расположение станций наблюдений, данные которых использованы авторами. Пунктиром показаны выбранные для анализа границы секторов направления ветра: 1 – «Дунай», 2 – «СЗЧМ», 3 – «Черное море»

В настоящей статье использованы ежедневные измерения, полученные в сроки 9, 15, 21 ч для метеопараметров и в 8 ч для гидролого-гидрохимических параметров.

Для построения картосхем, проведения статистического и корреляционного анализа, как основных инструментов исследования, использованы программные средства ArcEditor 9.2, Excel, Statistica.

Анализ изменчивости среднемесячных значений метеорологических и физико-химических характеристик, приведенный ниже, был выполнен для периодов май-декабрь 2004-2013 гг., так как в январе-апреле почти всех лет указанного периода, за исключением зимы 2005-2006 гг., наблюдения на МНИС «Остров Змеиный» не проводились. В силу прерывности рядов данных, выводы при их анализе распространяются не на весь год, а только на указанный период.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Температура воздуха** на острове Змеиный в 2004-2013 гг. характеризовалась ярко выраженными сезонными изменениями с максимумами летом и минимумами зимой (рис. 2).

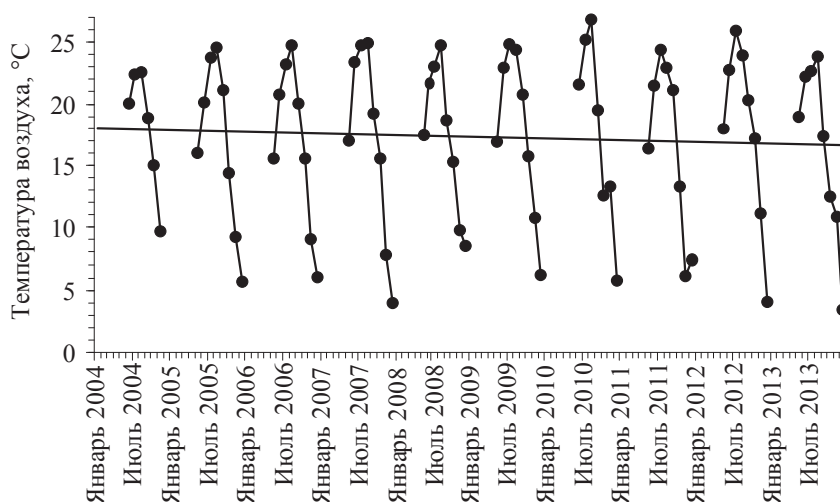


Рис. 2. Среднемесячные значения температуры воздуха (°C) на острове Змеиный в 2004-2013 гг.

Абсолютный минимум  $-14,2^{\circ}\text{C}$  был зарегистрирован в январе 2006 г., абсолютный максимум  $+34,5^{\circ}\text{C}$  – в августе 2010 г. Отрицательный линейный тренд температуры воздуха по ряду среднемесячных значений для периода май-декабрь 2004-2013 гг. составил  $0,14^{\circ}\text{C}$  в год.

**Температура морской воды** у острова Змеиный в 2004-2013 гг., также как и температура воздуха, характеризовалась хорошо выраженным сезонным ходом (рис. 3). Абсолютный минимум температуры воды  $+0,64^{\circ}\text{C}$  в этот период был зарегистрирован в феврале 2006 г., а максимум  $+28,50^{\circ}\text{C}$  – в августе 2005 и 2010 гг. для поверхностного горизонта и, соответственно,  $+0,92^{\circ}\text{C}$  в феврале 2006 г. и  $+28,50^{\circ}\text{C}$  в августе 2005 и 2010 гг. для горизонта 8 м. Большое значение температуры воды у дна объяснимо процессами интенсивного теплообме-

на между поверхностным слоем воды и атмосферой в осенне-зимний период года. Средние значения температуры воды в период май-декабрь 2004-2013 гг. составили  $+19,1 \pm 0,1^\circ\text{C}$  для поверхностного горизонта и  $+18,4 \pm 0,1^\circ\text{C}$  для горизонта 8 м.

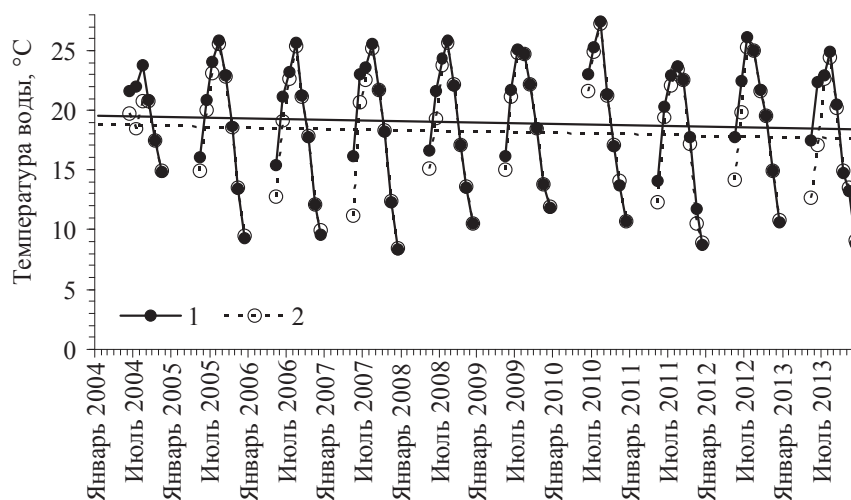


Рис. 3. Среднемесячные значения температуры морской воды ( $^\circ\text{C}$ ) у острова Змеиный на поверхностном – 0 м (1) и придонном – 8 м (2) горизонтах в 2004-2013 гг.

Для среднемесячных значений был выявлен отрицательный линейный тренд  $0,12^\circ\text{C}$  и  $0,11^\circ\text{C}$  в год для поверхностного и 8 м горизонтов соответственно, что свидетельствует об уменьшении температуры поверхностных морских вод в районе острова Змеиный для периода с мая по декабрь за последние 10 лет примерно на  $1,1-1,2^\circ\text{C}$ .

**Соленость прибрежных морских вод** у острова Змеиный (рис. 4) в 2004-2013 гг. характеризовалась хорошо выраженным сезонным ходом с максимумами в осенне-зимние и минимумами в весенне-летние месяцы, изменяясь в пределах от 9,394 (август 2009 г.) до 18,778 PSU (октябрь 2005 г.) в поверхностном слое и от 11,238 (июнь 2004 г.) до 18,778 PSU (октябрь 2005 г.) на горизонте 8 м. Средняя соленость воды в период май-декабрь 2004-2013 гг. составила  $15,440 \pm 0,036$  PSU и  $15,950 \pm 0,028$  PSU в поверхностном слое и на горизонте 8 м соответственно, что оценивается как природное распределение по глубине.

Для указанного периода выявлены положительные тренды среднемесячных значений солености воды:  $0,190$  PSU/год и  $0,140$  PSU/год на поверхностном и 8-метровом горизонтах соответственно, что свидетельствует об увеличении солености поверхностных морских вод в районе острова Змеиный примерно на 10 % для периода с мая по декабрь 2004-2013 гг.

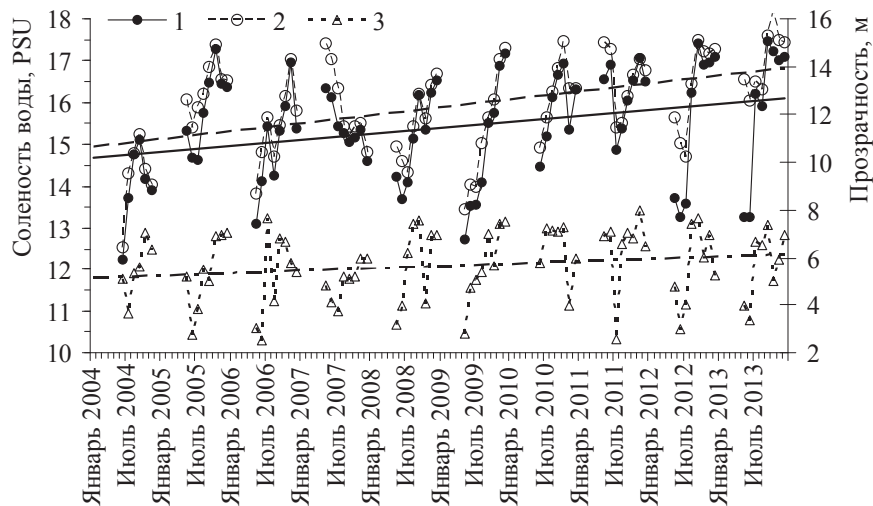


Рис. 4. Среднемесячные значения солености (PSU) на поверхностном – 0 м (1) и придонном – 8 м (2) горизонтах и прозрачности (3) в прибрежных водах острова Змеиный в 2004-2013 гг.

**Прозрачность морских вод** у острова Змеиный (рис. 4) в период май-декабрь 2004-2013 гг. изменялась в пределах от 0,7 м (июль 2011 г.) до 18,5 м (17.03.2006 г.). Максимальные величины прозрачности воды наблюдались в холодную половину года. В распределении среднемесячных величин прозрачности выявлен положительный тренд 0,1 м/год, что свидетельствует об увеличении прозрачности морских вод в районе о. Змеиный на 1 м за последние 10 лет для указанного периода года. Это может свидетельствовать о том, что в указанные годы возросла продолжительность периодов нахождения в районе острова Змеиный водных масс из открытой части Черного моря.

**Содержание растворенного кислорода** в морских водах у острова Змеиный (рис. 5, 6) характеризовалось ежегодными максимумами зимой-весной и минимумами летом-осенью и изменялось в пределах от 4,60 мг/л (июль 2008 г.) до 14,14 мг/л (ноябрь 2007 г.) в поверхностном слое и от 4,41 мг/л (июль 2008 г.) до 14,01 мг/л (декабрь 2007 г.) на горизонте 8 м. Средняя за указанные годы концентрация растворенного в воде кислорода для периода май-декабрь составила  $7,90 \pm 0,02$  мг/л и  $7,67 \pm 0,02$  мг/л для поверхностного слоя и горизонта 8 м соответственно. Значения относительного содержания кислорода в 2004-2013 гг. изменялись в пределах от 41,1% (сентябрь 2004 г.) до 141,4% (сентябрь 2007 г.) и от 41,1% (сентябрь 2004 г.) до 149,9% (сентябрь 2007 г.) на поверхностном и 8 м горизонтах соответственно. Средняя за все указанные годы величина относительного содержания кислорода для периода май-декабрь составляла  $92,8 \pm 0,3$  % и  $88,7 \pm 0,2$  % для поверхностного слоя и горизонта 8 м соответственно.

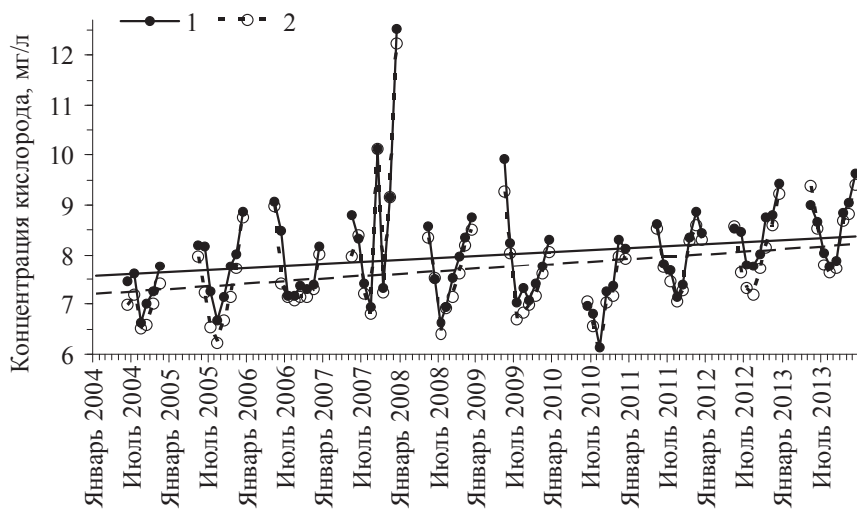


Рис. 5. Среднемесячные значения концентрации кислорода (мг/л) на поверхностном – 0 м (1) и придонном – 8 м (2) горизонтах в прибрежных водах острова Змеиный в 2004-2013 гг.

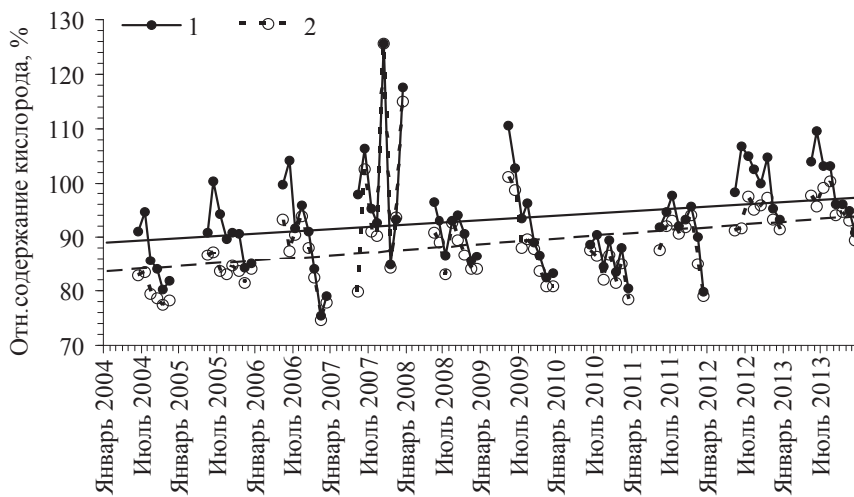


Рис. 6. Среднемесячные значения относительного содержания кислорода (%) на поверхностном – 0 м (1) и придонном – 8 м (2) горизонтах в прибрежных водах острова Змеиный в 2004-2013 гг.

Для среднемесячных значений растворенного в воде кислорода для периода май-декабрь выявлены положительные линейные тренды 0,08 и 0,10 мг/л в год для поверхностного слоя и горизонта 8 м соответственно. При этом линейный тренд относительного содержания кислорода был также положительным и составлял 0,82 и 1,02% в год для поверхностного и 8 м горизонтов соответственно. Гипоксические явления в морских прибрежных водах с глубинами до 8 м наблюдались только в сентябре 2009 г., когда относительное содержание кислорода падало ниже 50% (5,42 и 6,54 мг/л).

Следует отметить, что низкие концентрации растворенного в воде кислорода на глубинах более 8 м в 500-метровой зоне прибрежных вод острова регистрировались неоднократно [3]: 2,05 мг/л (сентябрь 2005 г., глубина 19,5 м), 4,50 мг/л (август 2010 г., глубина 29,6 м) и сопровождалась заморными явлениями.

Для района острова Змеиной причина этого лежит в сезонной сукцессии фитопланктона, т.к. обычно заморные явления совпадали с периодами отмирания некоторых групп водорослей.

**Водородный показатель (рН)** морских вод у острова Змеиный в 2004-2013 гг. (рис. 7) изменялся в пределах от 6,62 (ноябрь 2006 г.) до 9,04 (июль 2007 г.) на поверхностном и от 6,86 (ноябрь 2006 г.) до 8,97 (ноябрь 2009 г.) на придонном (8 м) горизонтах соответственно.

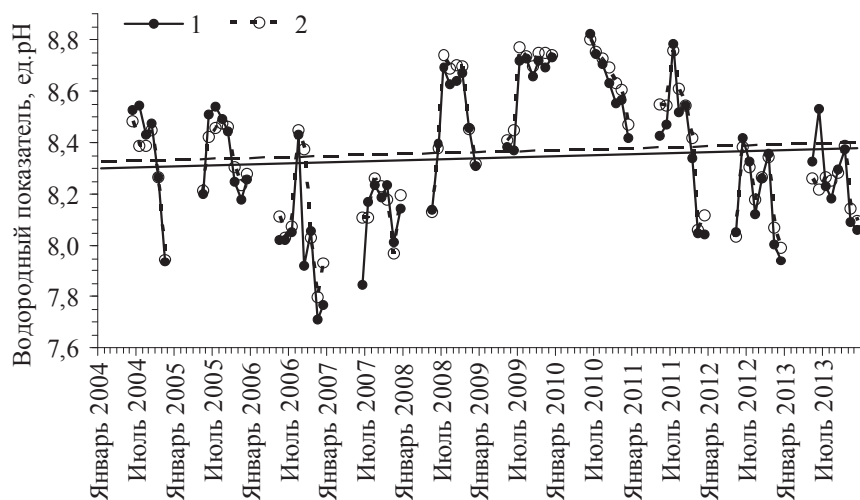


Рис. 7. Среднемесячные значения рН в прибрежных водах острова Змеиный на горизонтах 0 м (1); и 8 м (2) в 2004-2013 гг.

Средние значения рН для периода май-декабрь 2004-2013 гг. составили  $8,45 \pm 0,19$  ед. рН для поверхностного и  $8,46 \pm 0,19$  ед. рН для придонного горизонта (8 м). Для среднемесячных значений водородного показателя выявлены



положительные линейные тренды, одинаковые для поверхностного и придонного горизонтов – 0,01 ед. рН в год. Кроме того, в указанные годы зафиксирован четкий межгодовой синусоидальный цикл среднемесячных значений рН с полупериодом примерно 4 года: с минимумом в ноябре 2006 г. и максимумом в июне 2010 г.

Анализ особенностей временного распределения **водного стока р. Дунай** в 2004-2013 гг. (рис. 8), который детально был проведен нами в работе [4], показал, что максимальные величины водного стока р. Дунай отмечались обычно в марте-июне – до 36,7 км<sup>3</sup>/мес, а минимальные – до 7,9 км<sup>3</sup>/мес – в августе-ноябре, при средней величине – 18,1±0,7 км<sup>3</sup>/мес. Временное распределение интенсивности водного стока р. Дунай характеризовалось отрицательным линейным трендом, равным 0,034 км<sup>3</sup>/мес.

Так же, как и для водородного показателя, в указанные годы отмечается межгодовой цикл среднемесячных значений с полупериодом примерно 4 года: с минимумом в декабре 2011 г. и максимумом в июне 2006 г.

Так как регулярные измерения **уровня моря** на МНИС «Остров Змеиный» проводились в период с апреля-мая по декабрь, то отсутствующая информация компенсировалась данными, восстановленными методом водного нивелирования [4]. Максимальные значения уровня моря на МНИС «Остров Змеиный» в 2004-2013 гг. обычно отмечались [4] в весенне-летний период года, а минимальные – в осенне-зимний; для среднемесячных величин уровня моря в указанные годы был установлен положительный линейный тренд – 0,27 см в год (рис. 8).

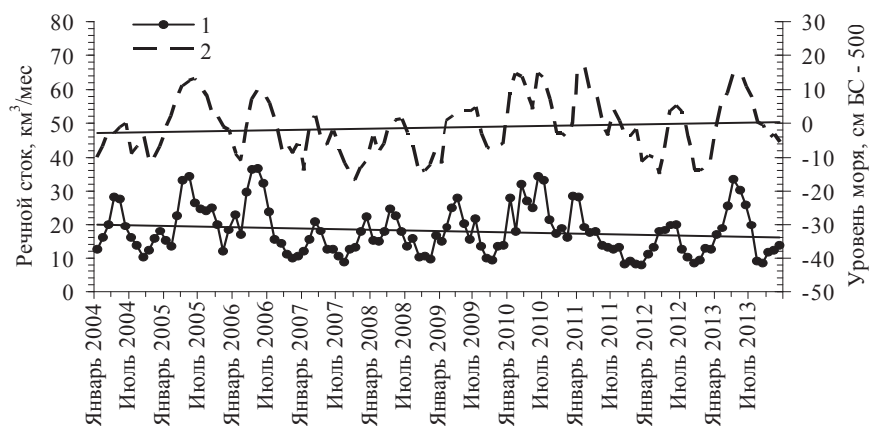


Рис. 8. Среднемесячные значения водного стока (1) р. Дунай (км<sup>3</sup>/мес) и уровня моря (2) на МНИС «Остров Змеиный» в 2004-2013 гг.

Как показано в [9] и [4], уровень моря у о. Змеиный зависит от объема и направления переноса водных масс в северо-западной части Черного моря и

величины стока р. Дунай. При этом межгодовая изменчивость уровня моря и стока характеризуется противоположно направленными тенденциями.

Для уровня моря в указанные годы также отмечается межгодовой синусоидальный цикл среднемесячных значений с полупериодом примерно 5,6 лет: с минимумом в октябре 2007 г. и максимумом в январе 2011 г.

Исследование временного распределения **скорости ветра** на МНИС «Остров Змеиный» (рис. 9) показало, что в исследуемый период она изменялась в пределах от 0,0 до 29,0 м/с (январь 2004 г.) при средней величине  $5,5 \pm 0,1$  м/с. При этом максимальные величины скорости ветра обычно отмечались в зимние месяцы, а минимальные – в мае-августе. Значимых трендов в распределении среднемесячных значений скорости ветра для указанного периода не выявлено ( $y = 0,0019x + 3,045$ ;  $R^2 = 0,0036$ ).

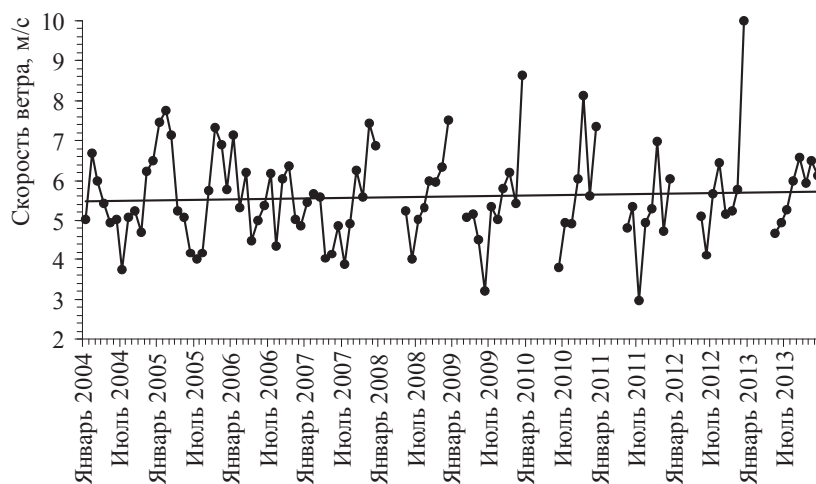


Рис. 9. Середньомісячні значення швидкості вітру на о. Змеїний в 2004-2013 гг.

Проведений вище нами короткий аналіз изменчивости среднемесячных значений основных физико-химических характеристик морских вод в районе острова Змеиный и интенсивности водного стока позволил нам предположить, что водный сток р. Дунай должен влиять на уровни и динамику изменений их значений. Кроме того, в работе [4] уже была установлена тесная корреляционная взаимосвязь уровня моря у острова Змеиный и стока р. Дунай ( $r=0,70$  при  $\alpha=0,05$ ). Анализ результатов корреляционного анализа, который представлен в таблице 1, показал следующее.

**Соленость.** Для рядов солености поверхностного и придонного горизонтов соответственно значимые положительные корреляционные связи наблюдались с прозрачностью воды ( $r=0,64$  и  $r=0,42$ ) и скоростью ветра ( $r=0,49$  и  $r=0,37$ ); отрицательные – со стоком р. Дунай ( $r=0,49$  и  $r=0,33$ ). Значимая отрицательная корреляционная взаимосвязь была зарегистрирована также между соленостью

поверхностного горизонта и уровнем моря ( $r=-0,41$ ) и относительным содержанием кислорода ( $r=-0,34$ ). Таким образом, увеличение водного стока р. Дунай, с одной стороны, вызывало уменьшение солености, с другой стороны, являлось одной из причин повышения уровня моря в районе острова Змеиный (табл. 1) [4]. Скорость ветра, являясь одним из факторов, вызывающих вертикальное перемешивание воды, в исследуемом районе также влияла на величину солености.

Обнаружена отрицательная корреляционная взаимосвязь между соленостью и относительным содержанием кислорода в поверхностном слое ( $r=-0,34$ ). При этом корреляционная взаимосвязь между соленостью и относительным содержанием кислорода в придонном слое воды (горизонт 8 м) не была значимой. Указанный факт требуют дополнительного исследования.

**Прозрачность.** Для среднемесячных значений прозрачности морской воды значимые положительные коэффициенты корреляции были получены с соленостью ( $r=0,64$  и  $r=0,42$  для поверхностного и придонного горизонта соответственно) и со скоростью ветра ( $r=0,49$ ), а отрицательные – с интенсивностью речного стока ( $r=-0,39$ ), уровнем моря ( $r=-0,40$ ) и относительным содержанием кислорода в поверхностном слое ( $r=-0,48$ ).

Такие взаимосвязи можно объяснить гидродинамикой района, которой определяется, какие водные массы, и в каком количестве преобладают на исследуемой акватории. Так, более соленые и более прозрачные воды, характерны для водных масс из центральных областей моря, а менее прозрачные воды с относительно низким содержанием кислорода вызваны адвекцией распресненных вод от дельты р. Дунай или из северо-западной части Черного моря (СЗЧМ). При этом, корреляционная связь прозрачности и солености уменьшается с увеличением глубины (с  $r=0,64$  до  $r=0,42$ ), что связано с эффектом растекания распресненных речной водой морских вод по поверхности с постепенным перемешиванием по глубине по мере удаления от дельты р. Дунай.

**Водородный показатель (рН).** Для среднемесячных значений водородного показателя в поверхностном и придонном слоях воды соответственно значимые положительные корреляционные связи наблюдались с температурой воды ( $r=0,45$  и  $r=0,49$ ), отрицательные – с концентрациями растворенного кислорода ( $r=-0,43$  и  $r=-0,45$ ). По нашему мнению, обнаруженные взаимосвязи можно объяснить особенностями газового обмена между атмосферой и поверхностными слоями морской воды. Причина – с повышением температуры происходит уменьшение растворимости и, соответственно, равновесных концентраций углекислого газа в поверхностных слоях морской воды, что, естественно, приводит к повышению рН. Наличие значимой отрицательной корреляционной связи между концентрациями кислорода и значениями рН подтверждает этот вывод. Так как содержание кислорода является прямым однозначным индикатором содержания углекислого газа, и с уменьшением содержания кислорода уменьшается и содержание углекислого газа в морской воде [1, 15]. Высокий коэффициент корреляции между величинами водородного показателя в

Таблица 1  
**Значимые коэффициенты корреляции ( $r \leq 0,05$ ) среднemesячных значений физико-химических характеристик морских вод на МНИС «Остров Змеиний», водного стока р. Дунай и скорости ветра в 2004-2013 гг.**

Параметр	Соленость (0 м), PSU	Соленость (8 м), PSU	Прозрачность, м	pH (0 м), ед.рН	pH (8 м), ед.рН	O <sub>2</sub> (0 м), мг/л	O <sub>2</sub> (8 м), мг/л	O <sub>2</sub> (0 м), %	O <sub>2</sub> (8 м), %	Температура (0 м), °С	Температура (8 м), °С	Уровень моря, см	Водный сток р. Дунай, км <sup>3</sup> /мес	Скорость ветра, м/с
Соленость (8 м), PSU	0,89 <sup>a</sup>													
Прозрачность, м	0,64 <sup>a</sup>	0,42 <sup>a</sup>												
pH (0 м), ед.рН														
pH (8 м), ед.рН				0,94 <sup>a</sup>										
O <sub>2</sub> (0 м), мг/л				-0,43 <sup>a</sup>	-0,47 <sup>a</sup>									
O <sub>2</sub> (8 м), мг/л				-0,43 <sup>a</sup>	-0,45 <sup>a</sup>	0,97 <sup>a</sup>								
O <sub>2</sub> (0 м), %		-0,34 <sup>a</sup>		-0,48 <sup>a</sup>		0,28 <sup>b</sup>								
O <sub>2</sub> (8 м), %				0,28 <sup>b</sup>	0,29 <sup>b</sup>	0,88 <sup>a</sup>								
Температура (0 м), °С				0,45 <sup>a</sup>	0,45 <sup>a</sup>	-0,76 <sup>a</sup>	-0,78 <sup>a</sup>	0,40 <sup>a</sup>	0,33 <sup>a</sup>					
Температура (8 м), °С				0,46 <sup>a</sup>	0,49 <sup>a</sup>	-0,79 <sup>a</sup>	-0,82 <sup>a</sup>	0,32 <sup>b</sup>	0,30 <sup>b</sup>	0,98 <sup>a</sup>				
Уровень моря, см		-0,41 <sup>a</sup>		-0,40 <sup>a</sup>				0,38 <sup>a</sup>		0,27 <sup>b</sup>				
Водный сток р. Дунай, км <sup>3</sup> /мес		-0,49 <sup>a</sup>		-0,39 <sup>a</sup>								0,70 <sup>a</sup>		
Скорость ветра, м/с		0,49 <sup>a</sup>		0,37 <sup>a</sup>	0,49 <sup>a</sup>			-0,29 <sup>b</sup>		-0,39 <sup>a</sup>	-0,30 <sup>b</sup>		-0,33 <sup>a</sup>	

Примечания.

1. рН – водородный показатель; O<sub>2</sub> – растворенный в воде кислород; 0 м и 8 м – горизонты измерений и отбора проб.
2. Объемы выборки для всех параметров – от 75 до 84 пар; для стока р. Дунай и скорости ветра – 120 пар.
3. <sup>a</sup> – Коэффициент корреляции при  $r < 0,01$  %;
4. <sup>b</sup> – Коэффициент корреляции при  $0,01 \leq r \leq 0,05$  %.

поверхностном и придонном слоях ( $r=0,94$ ), также как и для солености, может быть объясним однородностью исследуемого слоя воды.

**Растворенный кислород.** Для рядов концентраций кислорода в поверхностном и придонном слоях воды значимые отрицательные корреляционные связи наблюдались с температурой воды ( $r=-0,76$  и  $r=-0,82$  соответственно) и, как указано выше, с водородным показателем ( $r=-0,43$  и  $r=-0,45$  соответственно). Полученные взаимосвязи объясняются физическими закономерностями: повышение температуры воды снижает растворимость  $\text{CO}_2$ , что сопровождается уменьшением количества ионов водорода. Вследствие этого повышается величина водородного показателя в воде. Значимых корреляционных зависимостей концентрации растворенного в воде кислорода с уровнем моря и скоростью ветра нами зафиксировано не было.

Высокий коэффициент корреляции между концентрацией кислорода в поверхностном и придонном слоях ( $r=0,97$ ), так же, как и для солености и pH, может быть объясним однородностью исследуемого слоя воды.

**Относительное содержание растворенного в воде кислорода.** Для рядов относительного содержания кислорода значимые положительные корреляционные связи наблюдались с температурой воды ( $r=0,40$  и  $r=0,30$  в поверхностном и придонном слоях соответственно) и уровнем моря в поверхностном слое ( $r=0,38$ ). Отрицательные были с прозрачностью, скоростью ветра и соленостью в поверхностном слое воды ( $r=-0,48$ ,  $r=-0,29$ ,  $r=-0,34$  соответственно). Положительные корреляционные связи можно объяснить повышением растворимости кислорода в воде с понижением температуры морской воды. Причиной этого обычно является адвекция морских вод из открытых районов моря либо подъем глубинных вод. Отрицательная корреляционная связь с прозрачностью и соленостью поверхностного слоя связана с адвекцией распресненной воды, переносимой в район острова Змеиный от устья р. Дунай и из СЗЧМ.

Слабая, но значимая отрицательная корреляционная связь относительного содержания кислорода в воде со скоростью ветра будет более детально нами проанализирована в будущем.

Таким образом, вышеизложенным показано, что с водным стоком р. Дунай находятся в значимой корреляционной взаимосвязи три основных физико-химических параметра: соленость, прозрачность и уровень моря.

Детальный анализ взаимосвязей физико-химических характеристик со скоростью ветра обнаружил значимые корреляционные взаимосвязи с соленостью, прозрачностью и уровнем моря, температурой и относительным содержанием кислорода в воде (табл. 1). Наблюдалось полное отсутствие значимых корреляционных взаимосвязей указанных характеристик с направлением ветра. Это вызывало вопросы, так как мы предполагали, что адвективный перенос различных водных масс под влиянием ветра обязательно должен влиять на физико-химические параметры водной среды в районе острова Змеиный.

В этой связи нами был проведен более детальный анализ влияния скорости ветра из трех секторов Черного моря, в которых формируются водные массы с различными характеристиками. Ряды исходных данных были разделены на три выборки, в зависимости от секторов направления ветра (рис. 1): 225-315° (далее – сектор «Дунай»); 315-90° (далее – сектор «СЗЧМ»); 90-225° (далее – сектор «Черное море»). Такое деление обосновано географическим расположением острова Змеиный, находящегося в зоне взаимодействия водных масс трех типов [4, 9]: трансформированные речные воды от взморья р. Дунай, морские поверхностные воды шельфа СЗЧМ и черноморская поверхностная вода из открытого моря.

Анализ результатов наблюдений на о. Змеиный в период май-декабрь 2004-2013 гг. показал (рис. 10), что повторяемость ветров сектора «Дунай» составляла от 4 до 39% всего ряда наблюдений при среднем значении  $15,5 \pm 0,8\%$ ; сектора «СЗЧМ» – от 5 до 67% при среднем значении  $37,1 \pm 1,3\%$ ; сектора «Черное море» – от 10 до 59% при среднем значении  $32,9 \pm 1,1\%$ . Повторяемость штилевой погоды изменялась в пределах от 0 до 10% при среднем значении  $1,9 \pm 0,2\%$ .

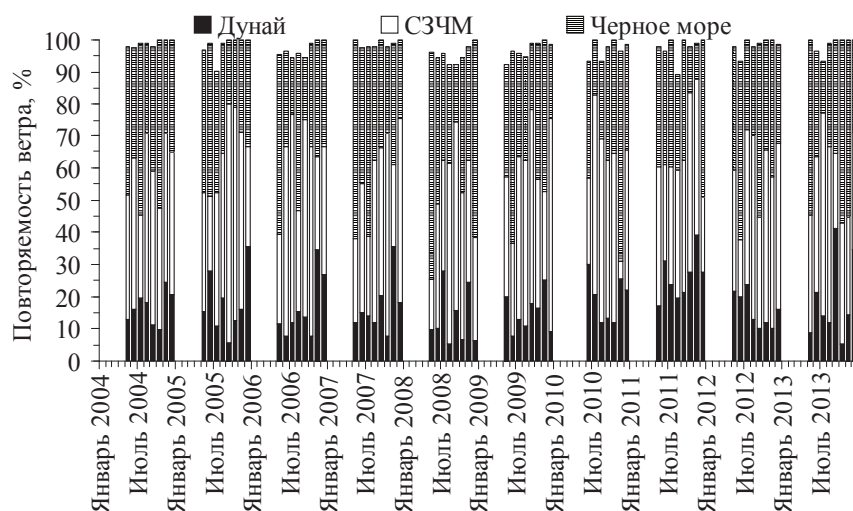


Рис. 10. Ежемесячная повторяемость направлений ветра на острове Змеиный в 2004-2013 гг. по трем секторам: «Дунай», «СЗЧМ», «Черное море» (повторяемость штиля оставлена незаштрихованной)

Для периодов май-декабрь 2004-2013 гг. наблюдались многолетние тренды в величинах повторяемости направлений ветра: положительный 0,4 % в год для сектора «Дунай» и отрицательный 0,4% в год для сектора «СЗЧМ». Т.е. за 10-летний период повторяемость ветров сектора «Дунай» возросла на 4%, а сектора «СЗЧМ» – уменьшилась на 4%. Для повторяемости сектора «Черное море» и случаев штиля значимых трендов не выявлено. Таким образом, можно

сделать вывод о незначительном долговременном изменении схемы атмосферной циркуляции в исследуемом районе. Этот факт может быть использован при исследовании причин предполагаемого в [4] возможного ослабления в указанный период циклонической ветви Основного Черноморского течения (ОЧТ) в СЗЧМ.

Поиск корреляционных взаимосвязей физико-химических параметров морских вод в 2004-2013 гг. В районе острова Змеиный со скоростью ветра при разделении всей совокупности срочных наблюдений на три ветровых сектора: «Дунай», «СЗЧМ», «Черное море» показал следующее (табл. 2).

Таблица 2

**Значимые коэффициенты корреляции ( $p < 0,01$ ) физико-химических характеристик морских вод со скоростью ветра на МНИС «Остров Змеиный» в 2004-2013 гг. В трех ветровых секторах**

Параметр	Скорость ветра, сектор «Дунай», м/с	Скорость ветра, сектор «СЗЧМ», м/с	Скорость ветра, сектор «Черное море», м/с
Соленость (0 м), PSU	<u>0,24</u>	<u>0,26</u>	<u>0,09</u>
	469	1311	929
Соленость (8 м), PSU	<u>0,17</u>	<u>0,18</u>	<u>0,09</u>
	469	1305	926
Прозрачность, м	<u>0,20</u>	<u>0,22</u>	
	402	979	
рН (0 м), ед.рН	<u>-0,18</u>	<u>-0,12</u>	<u>-0,16</u>
	417	1170	803
рН (8 м), ед.рН	<u>-0,15</u>	<u>-0,09</u>	<u>-0,14</u>
	415	1166	802
O <sub>2</sub> (0 м), мг/л	<u>0,12<sup>a</sup></u>	<u>0,06<sup>a</sup></u>	<u>0,15</u>
	421	1207	831
O <sub>2</sub> (8 м), мг/л	<u>0,17</u>	<u>0,09</u>	<u>0,18</u>
	420	1201	829
O <sub>2</sub> (0 м), %	<u>-0,21</u>	<u>-0,18</u>	<u>-0,13</u>
	421	1207	831
O <sub>2</sub> (8 м), %		<u>-0,09</u>	
		1201	
Температура (0 м), °С	<u>-0,31</u>	<u>-0,26</u>	<u>-0,30</u>
	478	1341	931
Температура (8 м), °С	<u>-0,25</u>	<u>-0,19</u>	<u>-0,27</u>
	471	1307	927
Уровень моря, см	<u>-0,24</u>	<u>-0,15</u>	
	383	912	

Примечания.

1. рН – водородный показатель; O<sub>2</sub> – растворенный в воде кислород; 0 м и 8 м – горизонты измерений и отбора проб.
2. Объемы выборок указаны под коэффициентом корреляции.
3. <sup>a</sup> – Коэффициент корреляции при  $0,01 \leq p \leq 0,05$  %.



**Соленость.** Для солености в поверхностном слое наблюдались положительные корреляционные связи со скоростью ветра для секторов «Дунай» и «СЗЧМ» ( $r=0,24$  и  $r=0,26$  соответственно); для сектора «Черное море» эта связь была заметно слабее ( $r=0,09$ ). Для солености в придонном слое наблюдались менее устойчивые положительные корреляционные связи со скоростью ветра для секторов «Дунай» и «СЗЧМ» ( $r=0,17$  и  $r=0,18$  соответственно), при связи той же силы для сектора «Черное море».

Сравнивая коэффициенты из таблиц 1 и 2, следует отметить, что, усредняя помесячно и не разбивая данные по секторам, мы получали более высокие значения коэффициентов корреляции между соленостью и скоростью ветра в районе острова Змеиный.

**Прозрачность.** Коэффициенты корреляции между рядами прозрачности воды и скоростью ветра также были максимальны для секторов «Дунай» и «СЗЧМ» ( $r=0,20$  и  $r=0,22$  соответственно) и незначимы для сектора «Черное море». Также как и для солености отметим ослабление корреляционной связи между указанными параметрами при разбиении данных на ветровые секторы.

**Водородный показатель (рН).** Для измеренных значений водородного показателя в поверхностном и придонном слоях воды при разбиении на секторы были обнаружены значимые отрицательные корреляционные зависимости, наиболее выраженные для секторов «Дунай» и «Черное море» ( $r=-0,18$  и  $r=-0,16$  для поверхностного слоя соответственно). Эту зависимость предположительно можно объяснить контрастностью типов водных масс, приносимых в район острова ветрами из двух указанных секторов. Для сектора «СЗЧМ», особенно при его сужении до пределов  $315-45^\circ$ , корреляционная взаимосвязь между водородным показателем и скоростью ветра была заметно ниже ( $r=-0,12$  и  $r=-0,09$  для двух горизонтов соответственно).

**Растворенный в воде кислород.** Так же, как и в случае с рН, для концентрации растворенного в воде кислорода при разделении на ветровые секторы были обнаружены значимые корреляционные зависимости, наиболее тесные для секторов «Дунай» и «Черное море», причем, найденная взаимосвязь более выражена для придонного слоя воды ( $r=0,17$  и  $r=0,18$  соответственно). При сужении сектора ветра «Черное море» до  $181-215^\circ$  коэффициент корреляции между концентрацией кислорода в воде и скоростью ветра возрастал до  $0,24$  и  $0,29$  в поверхностном и придонном слоях соответственно. По нашему мнению, вероятной причиной может быть апвеллинг морских вод из открытой части Черного моря, вызванный замещением поверхностной воды, переносимой ветровыми течениями перпендикулярно от морского края дельты р. Дунай мористее острова Змеиный. Естественно, что для придонного слоя воды связь в этом случае должна быть сильнее, что и зафиксировано в величинах коэффициентов корреляции концентрации растворенного в воде кислорода и скорости ветра для поверхностного и придонного слоев (табл. 2).



Для рядов **относительного содержания кислорода** в воде при разбиении на ветровые секторы также отмечается снижение корреляционной зависимости со скоростью ветра по сравнению с взаимосвязью для всего ряда. Для поверхностного слоя воды наблюдались отрицательные корреляционные связи, максимальные для секторов «Дунай» и «СЗЧМ» ( $r=-0,21$  и  $r=-0,18$  соответственно), для придонного слоя – связь оставалась незначима.

**Температура воды.** Для рядов данных по температуре в поверхностном и придонном слоях воды со скоростью ветра наблюдались отрицательные корреляционные взаимосвязи во всех трех ветровых секторах. Наибольшие коэффициенты корреляции получены для поверхностного слоя для секторов «Дунай» и «Черное море» ( $r=-0,31$  и  $r=-0,30$  соответственно). Для рядов температуры воды отмечается снижение величины корреляционной взаимосвязи со скоростью ветра при разбиении данных по ветровым секторам.

## ВЫВОДЫ

Статистический анализ наблюдений за основными физико-химическими характеристиками прибрежных вод острова Змеиный в 2004-2013 годах позволил оценить средние величины исследуемых параметров, выявить их высокую сезонную и межгодовую изменчивость, а также наличие значимых трендов, которые свидетельствуют о структурных изменениях в исследуемой экосистеме под воздействием глобальных изменений климата. При этом была зафиксирована значительная однородность исследуемого 8-метрового слоя моря по всем физико-химическим показателям.

Статистически было выявлено, что основными причинами, которые определяют сезонную и межгодовую изменчивость прозрачности, солёности, содержания кислорода и величины водородного показателя являются интенсивность водного стока реки Дунай, скорость ветра и температура воздуха. Для указанного периода был зафиксирован отрицательный линейный тренд в распределении водного стока р. Дунай –  $0,408 \text{ км}^3/\text{год}$ . Кроме того, отмечается межгодовой синусоидальный цикл среднемесячных значений водного стока с полупериодом примерно 4 года.

Среднемесячная температура воздуха для периода май-декабрь 2004-2013 гг. уменьшилась на  $1,4^\circ\text{C}$ , а для поверхностного и 8 м горизонтов морской воды на  $1,1$  и  $1,2^\circ\text{C}$  соответственно, что свидетельствует об изменении температурного режима системы «море–атмосфера» в районе острова Змеиный.

Показано, что в течение 10 лет (период май-декабрь 2004-2013 гг.) наблюдалось устойчивое увеличение среднемесячных значений: солёности воды – на  $1,90 \text{ PSU}$  и  $1,40 \text{ PSU}$  на поверхностном и 8-метровом горизонтах соответственно; прозрачности – на  $1,0 \text{ м}$ ; концентрации растворенного в воде кислорода – на  $0,8$  и  $1,0 \text{ мг/л}$  на поверхностном и 8-метровом горизонтах соответственно; относительного содержания кислорода – на  $8,2$  и  $10,2\%$  на поверхностном и

8-метровом горизонтах соответственно; водородного показателя – на 0.10 ед. рН на поверхностном и 8-метровом горизонтах.

Проведенное детальное исследование зависимости физико-химических характеристик морских вод от направления и скорости ветра на острове Змеиный показало следующее:

- долговременное изменение схемы атмосферной циркуляции для периода май-декабрь 2004-20013 гг. – повторяемость ветров сектора «Дунай» возросла на 4%; сектора «СЗЧМ» – уменьшилась на 4%; сектора «Черное море» – осталась без изменений;
- максимальные коэффициенты корреляции со скоростью ветра секторов «Дунай» и «СЗЧМ» получены у солености, прозрачности и относительного содержания кислорода в воде; в секторе «Черное море» – значения коэффициентов намного меньше или незначимы;
- максимальные коэффициенты корреляции со скоростью ветра секторов «Дунай» и «Черное море» получены у водородного показателя, концентрации кислорода и температуры воды; в секторе «СЗЧМ» – значения коэффициентов намного меньше.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящие исследования выполнены в рамках научно-исследовательского проекта: «Провести дослідження та розробити сучасну науково-методичну основу для створення новітньої регіональної системи інтегрованого морського моніторингу» (науч. рук. – д-р геол.-минерал. наук Черкез Е. А.) с использованием данных наблюдений, полученных в рамках госбюджетных научно-исследовательских проектов, которые финансировались Министерством образования и науки Украины в 2003-2016 году. Авторы благодарят сотрудников Регионального центра интегрированного мониторинга и экологических исследований и Дунайской гидрометеорологической обсерватории, благодаря которым были получены данные для этой работы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алекин О. А.* Химия океана [Текст] / О. А. Алекин, Ю. И. Ляхин. – Ленинград : Гидрометеиздат. – 1984. – 344 с.
2. *Большаков В. С.* Трансформация речных вод в Черном море [Текст] / В. С. Большаков ; Ин-т биологии южн. морей, АН УССР, Одес. отд-ние. – Киев : Наук. думка, 1970. – 328 с. : 74 с. ил. – ISBN 5-0924564-А.
3. *Газетов Е. И.* Особенности вертикального распределения гидролого-гидрохимических параметров вод Черного моря вокруг о. Змеиный в 2003-2013 гг. [Текст] / Е. И. Газетов // *Вестник ОНУ. Сер.: Географические и геологические науки.* – 2014. – Т. 19. – Вып. 2. – С. 122-134. – ISSN 2303-9914.
4. *Газетов Е. И.* Оценка влияния стока реки Дунай на отдельные гидрологические характеристики Северо-западной части Черного моря в 2003-2013 гг. [Текст] / Е. И. Газетов, О. Р. Андрианова, В. И. Мединец, Р. Р. Белевич, В.Н. Морозов // *Вестник ОНУ. Сер.: Географические и геологические науки.* – 2015. – Т. 20. – Вып. 4. – С. 22-34. – ISSN 2303-9914
5. Гідрологічні та гідрохімічні показники стану північно-західного шельфу Чорного моря [Текст] : довідник / І. Г. Орлова, М. Ю. Павленко, В. В. Український, Ю. І. Попов, Л. В. Мацюкін, В. М. Коморін,

- Т. О. Гаврилова, Р. Й. Лісовський, Г. І. Барішевська / Під ред. Лосвої І.Д.; НДУ «Укр. наук. центр екол. моря». – Київ : КНТ, 2008. – 616 с.
6. Global Environment Outlook 2000 (GEO-2000) / United Nations Environment Programme (UNEP). – 1999. – 398 p. Доступ на: <http://web.unep.org/geo/assessments/global-assessments/geo-2000>
  7. Global Environment Outlook report (GEO-3) / United Nations Environment Programme (UNEP). – 2002. – 504 p. Доступ на: <http://web.unep.org/geo/assessments/global-assessments/global-environment-outlook-3>
  8. Острів Зміїний. Екосистема прибережних вод [Текст] : монографія / В. А. Сминтина [та ін.] ; відп. ред. В. І. Медінець ; Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова. – Одеса : Астропринт, 2008. – 228 [20] с., 74 с. іл. – Бібліогр.: с. 189-207. – 300 екз. – ISBN 978-966-190-149-9.
  9. Природные условия взморья реки Дунай и острова Змеинный: современное состояние экосистемы [Текст] ; под ред. В. А. Иванова, С. В. Гошовского ; Мор. гидрофиз. ин-т. – Севастополь : НИЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 1999. – 268 с. : 148 с. ил. ; – Библиогр.: с. 259-268. – 150 экз. – ISBN 966-021238-0.
  10. Bondar C. The Black Sea level variations and the river-sea interactions [Text] / C. Bondar // GEO-ECOMARINA, Coastal Zone Processes and Management, Environmental Legislation. – 2007. – V. 13. – P. 43 – 50. – ISSN 2248–2776.
  11. Convention on the Protection of the Black Sea Against Pollution [Text] // The Black Sea Commission. 1992, 34 p. Доступ на: [http://www.blacksea-commission.org/\\_convention-fulltext.asp](http://www.blacksea-commission.org/_convention-fulltext.asp)
  12. Convention on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea Area [Text] // Baltic Marine Environment Protection Commission. – 1992. – 45 p. Доступ на: [http://www.helcom.fi/documents/about%20us/convention%20and%20commitments/helsinki%20convention/1992\\_convention\\_1108.pdf](http://www.helcom.fi/documents/about%20us/convention%20and%20commitments/helsinki%20convention/1992_convention_1108.pdf)
  13. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive) [Text] // European Communities. – 2008. – 22 p. Доступ на: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:164:0019:0040:EN:PDF>
  14. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy [Text] // European Communities. – 2000. – 133 p. Доступ на: [http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC\\_1&format=PDF](http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF)
  15. Frieder C. A. High temporal and spatial variability of dissolved oxygen and pH in a nearshore California kelp forest [Text] / C. A. Frieder, S. H. Nam, T. R. Martz, L. A. Levin // Journal Biogeosciences. – 2012. – V. 9. – P. 3917–3930. – [www.biogeosciences.net/9/3917/2012/](http://www.biogeosciences.net/9/3917/2012/)
  16. Gomoiu M.-T. Some remark concerning actual state of the Danube River – Black Sea Ecological System [Text] / M.-T. Gomoiu // GEO-ECOMARINA, Danube Delta – Black Sea System under Global Changes Impact. – 1996. – V. 1. – P. 31 – 33. – ISSN 2248–2776.
  17. Kovalova N. Results of phytoplankton pigments studies in the Zmiinyi Island coastal waters in the Black Sea, 2004-2012 [Text] / N. Kovalova, V. Medinets // Вісник Одеського національного університету, географічні та геологічні науки. – 2014. Т. 19, вип. 3(22), – С. 44 – 59.
  18. State of the Environment of the Black Sea (2001 – 2006/7) [Text] // Edited by Temel Oguz. Publications of the Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution 2008-3 (BSC). – Istanbul : 2008. – 448 pp.

## REFERENCES

1. Alekin, O. A., Lyakhin, Yu. I. (1980) *Khimiya okeana [Chemistry of ocean]*, Leningrad: Gidrometeoizdat, 344 p.
2. Bolshakov, V. S. (1970), *Transformatsiya rechnykh vod v Chernom more [Transformation of river waters in the Black Sea]*, Kiev: Naukova dumka, 328 p.
3. Gazyetov, Ye. I. (2014) Osobennosti vertikalnogo raspredeleniya gidrologo-gidrokhimicheskikh parametrov vod Chernogo morya vokrug o. Zmiinyi v 2003-2013 gg. [Peculiarities of hydrological and hydrochemical parameters' vertical distribution in the Zmiinyi Island area marine waters in 2003-2013], *Odessa National University Herald*, vol. 19, No. 2, pp. 122-134.
4. Gazyetov, Ye. I. Andrianova, O. R., Medinets, V. I., Belevich, R. R., Morozov, V.N. (2015) Otsenka vliyaniya stoka reki Dunay na otdelnye gidrologicheskie kharakteristiki Severo-zapadnoy chasti Chernogo morya v 2003-2013 gg. [Assessment of the Danube River Influence on Some Hydrological Characteristics of the Northwestern Black Sea in 2004-2013], *Odessa National University Herald*, vol. 20, No. 4, pp. 22-34.
5. Loyeva, I. D. (ed) (2008) *Gidrologichni ta gidrochimichni pokaznyky stanu pivnichno-zahidnogo shel'fu Chornogo morya [Hydrological and hydrochemical indicators of the Northwestern Black Sea shelf state]*, Kiev: KNT, 616 p.

6. Global Environment Outlook 2000 (GEO-2000) (1999), United Nations Environment Programme (UNEP), 398 p. Available at: <http://web.unep.org/geo/assessments/global-assessments/geo-2000>
7. Global Environment Outlook report (GEO-3) (2002), United Nations Environment Programme (UNEP), 504 p. Available at: <http://web.unep.org/geo/assessments/global-assessments/global-environment-outlook-3>
8. Medinets, V. I. (ed) (2008), Ostriv Zmiinyi. Ekosystema prybereznykh vod (Monohrafiya) [Zmiinyi Island. Ecosystem of coastal waters: Monograph], Odessa National I.I. Mechnikov University, Astroprint, Odessa, 228 p.
9. Ivanov, V. A., Goshovskiy, S. V. (eds) (1999), Prirodnye usloviya vzmorya reki Dunay i ostrova Zmiinyi: sovremennoe sostoyanie ekosistemy [Natural conditions of the near-shore zone of Danube river and Zmiinyi Island: current state of the ecosystem], Marine Hydrophysical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, EKOSI-Gidrofizika, Sevastopol, 268 p.
10. Bondar, C. (2007) The Black Sea level variations and the river-sea interactions, [*GEO-ECOMARINA, Coastal Zone Processes and Management, Environmental Legislation*], vol. 13, pp. 43 – 50. ISSN 2248–2776.
11. Convention on the Protection of the Black Sea Against Pollution (1992), The Black Sea Commission, 34 p. Available at: [http://www.blacksea-commission.org/\\_convention-fulltext.asp](http://www.blacksea-commission.org/_convention-fulltext.asp)
12. Convention on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea Area (1992), Baltic Marine Environment Protection Commission, 45 p. Available at: [http://www.helcom.fi/documents/about%20us/convention%20and%20commitments/helsinki%20convention/1992\\_convention\\_1108.pdf](http://www.helcom.fi/documents/about%20us/convention%20and%20commitments/helsinki%20convention/1992_convention_1108.pdf)
13. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive) (2008), European Communities, 22 p. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:164:0019:0040:EN:PDF>
14. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy (2000), European Communities, 133 p. Available at: [http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC\\_1&format=PDF](http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF)
15. Frieder, C. A., Nam, S. H., Martz, T. R., Levin, L. A. (2012) High temporal and spatial variability of dissolved oxygen and pH in a nearshore California kelp forest, *Journal Biogeosciences*, vol. 9, pp. 3917–3930. Available at: [www.biogeosciences.net/9/3917/2012/](http://www.biogeosciences.net/9/3917/2012/)
16. Gomoiu, M.-T. (1996) Some remark concerning actual state of the Danube River – Black Sea Ecological System, [*GEO-ECOMARINA, Danube Delta – Black Sea System under Global Changes Impact*], vol. 1, pp. 31 – 33. ISSN 2248–2776.
17. Kovalova, N., Medinets, V. (2014), Results of phytoplankton pigments studies in the Zmiinyi Island coastal waters in the Black Sea 2004-2012, *Odessa National University Herald*, vol. 19, No. 3, pp. 44-68.
18. Oguz, T. (ed.) (2008), State of the environment of the Black Sea (2001-2006/7). BSC Publications, 2008-3. Publications of the Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution (BSC), Istanbul, 448 pp. ISBN 978-9944-245-33-3.

Поступила 23.11.2016 г.

**Є. І. Газетов**, наук. співр.

**В. І. Мединец**, к.ф.-м.н., керівник центру,  
Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова,  
пров. Маяковського, 7, Одеса, 65082, Україна,  
[gazetov@gmail.com](mailto:gazetov@gmail.com)

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МІНЛИВОСТІ ОСНОВНИХ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСЬКИХ ВОД ПОБЛИЗУ ОСТРОВА ЗМІЙНИЙ У 2004-2013 РР.**

### **Резюме**

Наведено та проаналізовано результати спостережень, які проводилися в 2004-2013 рр. морською науково-дослідною станцією «Острів Зміїний» (швидкість і напрямок вітру, температура повітря, прозорість, температу-

ра, солоність, вміст кисню і водневий показник в морській воді) і Дунайською гідрометеорологічною обсерваторією (водний стік р. Дунай). Оцінено ступінь впливу стоку р. Дунай і вітрового режиму на основні фізико-хімічні характеристики водного середовища в районі о. Зміїний. Оцінені кореляційні (статистичні) взаємозв'язки основних фізико-хімічних характеристик прибережних вод о. Зміїний зі стоком р. Дунай і швидкістю вітру при різних його напрямках.

**Ключові слова:** прибережні морські води, Чорне море, острів Зміїний, стік ріки Дунай, фізико-хімічні характеристики

**Ye. I. Gazetov**

**V. I. Medinets**

Odessa I. I. Mechnikov National University,  
7 Mayakovskogo Lane, Odessa, 65082, Ukraine,  
gazetov@gmail.com

## VARIABILITY INVESTIGATION OF THE MAJOR CHEMICAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF SEA WATER AROUND ZMIINYI ISLAND IN 2004-2013

### Abstract

**Purpose.** Waters of the North-Western part of the Black Sea (NWBS) receiving the discharges from three large rivers (255,7 km<sup>3</sup> per year) differ from the waters of the Black Sea in their unique physical and chemical characteristics. In this context one of the most important tasks is assessment of the large rivers' discharge impacts on the estuarine areas of the Black Sea. The objective of the work has been to reveal the variability of physical and chemical characteristics of marine water near the Zmiinyi Island under impact of the Danube discharge and wind conditions in 2004-2013.

**Materials & Methods.** Results of meteorological (wind speed and direction, air temperature), hydrological and hydrochemical observations and measurements (temperature, transparency, salinity, density and relative oxygen content, pH value) performed in the island coastal waters in 2004-2013 have been used as the source data. Statistical and correlation analysis performed for the three sectors of wind direction in the Zmiinyi Island area ("Danube", "NWBS" (north-western Black Sea) and "Black Sea") have been used as a basic research tools.

**Results.** Many-years trends in the changes of the main physicochemical characteristics of marine waters near the Zmiinyi Island have been analysed. For the period May-December 2004-2013 the tendency of average monthly water temperature values decreasing has been identified, as well as the tendency of increasing of average monthly values of sea level, transparency, salinity, pH, concentration of and saturation with dissolved oxygen.

Quantitative confirmation of significant influence of the Danube discharge on salinity, transparency and water level near the Zmiinyi Island has been received.

For the period May-December 2004-2013, increasing repeatability of wind directions was revealed for the sector "Danube" and decreasing repeatability for the sector

“NWBS”. No significant trends have been established for repeatability of the “Black Sea” sector.

Division of datasets into wind sectors enabled us to establish certain regularities in the hydrological and hydrochemical regime of marine water in the Zmiinyi Island area. In particular, closer connections of salinity, transparency and relative oxygen content with wind speed were identified for the sectors “Danube” and “NWBS” and insignificant connections for the “Black Sea” sector. Closer connections of pH, oxygen concentration and air temperature were revealed with the speed of wind from the sectors “Danube” and “Black Sea” and less significant connections for the “NWBS” sector.

**Keywords:** coastal waters, the Black Sea, Zmiinyi Island, discharge of the Danube River, physical and chemical characteristics