

ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОСИСТЕМ

УДК 551.46.062.3+551.46.062.5

Е. И. ГАЗЕТОВ¹, В. И. МЕДИНЕЦ¹, канд. физ.-мат. наук, с. н. с.,
С. М. СНИГИРЕВ¹, канд. биол. наук, П. М. СНИГИРЕВ¹, А. Н. АБАКУМОВ¹,
В. З. ПИЦЫК¹

¹Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова
пров. Маяковского 7, м. Одеса, 65082, Україна

E-mail: gazetov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5362-1973>
medinets@te.net.ua <http://orcid.org/0000-0001-7543-7504>

ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКИХ ВОД У ОСТРОВА ЗМЕИНЫЙ В 2016-2017 ГГ.

Цель. Обобщение результатов наблюдений гидрологических характеристик вод Черного моря в районе острова Змеиный, которые проводились научной группой Регионального центра интегрированно-го мониторинга и экологических исследований Одесского национального университета имени И. И. Мечникова в 2016-2017 гг. **Методы.** Сбор первичных данных по прозрачности, температуре и солёности воды выполнялся стандартными методами. Обработка данных, расчет статистики, построение графиков и карт проводились с использованием программного обеспечения Excel и ArcGIS. **Результаты.** Представлены и проанализированы временные и пространственные распределения прозрачности, температуры и солёности вод Черного моря в районе острова Змеиный в период с апреля 2016 г. по декабрь 2017 г. По результатам анализа накопленной экспериментальной информации о прозрачности, температуре и солёности морской воды выявлены особенности сезонных изменений этих характеристик. **Выводы.** Установлено воздействие на сезонные циклы гидрологических характеристик вод Черного моря в районе острова Змеиный в 2016-2017 гг. адвекции распресненных водных масс со взморья реки Дунай и из северо-западной части Черного моря (СЗЧМ). В распределении температур морской воды у острова Змеиный в 2016-2017 гг. выявлен хорошо выраженный сезонный ход, который отражал сезонные изменения радиационного баланса и процессы теплообмена на границе море/ атмосфера, а также влияние адвекции водных масс из других районов моря. Показано, что сезонный ход солёности морской воды у острова Змеиный, которая находилась в пределах от 7.48 до 18.34 PSU, в 2016-2017 гг. претерпевал спорадические возмущения вследствие мигрирования фронтальной зоны распространения вод реки Дунай в районе острова Змеиный, а также адвекции распресненных водных масс из СЗЧМ. Прослежено формирование устойчивой двухслойной вертикальной плотностной стратификации морских вод у острова Змеиный в весенне-летние периоды 2016-2017 гг. Выявлено более раннее, в отличие от Одесского залива, весеннее вертикальное расслоение воды по температуре (в мае 2016 и 2017 гг.) и более плавное, до глубокой осени, сезонное понижение температуры.

Ключевые слова: Черное море, остров Змеиный, прибрежные воды, гидрологические характеристики

Gazyetov Ye. I., Medinets V. I., Snigirov S. M., Snigirov P. M., Abakumov A. N., Pitsyk V. Z.
Odessa National I.I. Mechnikov University, Odessa, Ukraine

STUDY OF MARINE WATERS HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS NEAR THE ZMIINYI ISLAND IN 2016-2017

Purpose. Results of hydrological characteristics observations in the Zmiinyi Island coastal waters carried out by research group of the Regional Center for Integrated Monitoring and Environmental Studies (Odessa National I.I. Mechnikov University) in 2016-2017 have been summarized. **Methods.** Primary data on transparency, temperature and salinity of marine water have been collected using standard methods. Data processing, calculation of statistics, producing of graphs and maps have been carried out using Excel and ArcGIS software. **Results.** Temporal and spatial distributions of transparency, temperature and salinity of marine waters near the Zmiinyi Island for the period from April 2016 to December 2017 have been presented and analyzed. Using the results of analysis of the accumulated experimental data on transparency, temperature and salinity of sea water the peculiarities of those characteristics' seasonal changes have been revealed. **Conclusions.** Impact of desalinated water masses advection from the Danube River mouth and from the North Western part of the Black Sea

(NWBS) on the seasonal cycles of marine waters hydrological characteristics at the Zmiinyi Island in 2016-2017 has been revealed. Well-visible seasonal variation was revealed in the sea water temperatures distribution near the Zmiinyi Island in 2016-2017, which reflected seasonal changes in radiation balance and heat exchange processes at the sea / atmosphere boundary, as well as the influence of water masses advection from other areas of the sea. It was shown that salinity seasonal variation in the sea water near the Zmiinyi Island, which ranged from 7.48 to 18.34 PSU, in 2016-2017 had the disturbance as the result of migration of the frontal zone of the Danube River waters distribution in the Zmiinyi Island area, as well as advection of desalinated water masses from the NWBS. Forming of stable two-layer vertical density stratification of the Zmiinyi Island coastal waters in spring-summer periods of 2016-2017 has been traced. An earlier (compared to Odessa Bay) spring vertical thermal stratification of water (May) and smoother, till late autumn, seasonal temperature decrease were revealed.

Key words: Black Sea, Zmiinyi Island, coastal waters, hydrological characteristics

Газетов Є. І., Медінець В. І. Снігирьов С. М., Снігирьов П. М., Абакумов О. М., Піщик В. З.
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСЬКИХ ВОД БІЛЯ ОСТРОВА ЗМІЙНИЙ В 2016-2017 РР.

Мета. Узагальнення результатів спостереження гідрологічних характеристик вод острова Зміїний, який виконувався науковою групою Регіонального центру інтегрованого моніторингу та екологічних досліджень Одеського національного університету імені І. І. Мечникова в 2016-2017 рр. **Методи.** Збір первинних даних з прозорості, температури і солоності води виконувався стандартними методами. Обробка даних, розрахунок статистики, побудова графіків і карт проводилися з використанням програмного забезпечення Excel і ArcGIS. **Результати.** Представлені і проаналізовані часові та просторові розподіли прозорості, температури і солоності вод Чорного моря біля острова Зміїний в період з квітня 2016 по грудень 2017 р. За результатами аналізу накопиченої експериментальної інформації про прозорість, температуру і солоність морської води виявлені особливості сезонних змін цих характеристик. **Висновки.** Встановлено вплив на сезонні цикли гідрологічних характеристик вод Чорного моря поблизу острова Зміїний в 2016-2017 рр. адвекції розпріснених водних мас від узмор'я річки Дунай і з північно-західної частини Чорного моря (ПЗЧМ). У розподілі температур морської води біля острова Зміїний в 2016-2017 рр. виявлено добре виражений сезонний хід, який відображав сезонні зміни радіаційного балансу і процеси теплообміну на границі море / атмосфера, а також вплив адвекції водних мас з інших районів моря. Показано, що сезонний хід солоності морської води біля острова Зміїний, яка перебувала в межах від 7.48 до 18.34 PSU, у 2016-2017 рр. зазнавав порушень в результаті мігрування фронтальної зони поширення вод річки Дунай в районі острова Зміїний, а також адвекції розпріснених водних мас з ПЗЧМ. Простежено формування сталої двошарової вертикальної щільнісної стратифікації прибережних вод острова Зміїний у весняно-літні періоди 2016-2017 рр. Виявлено більш раннє, на відміну від Одеського затоки, весняне вертикальне розшарування води за температурою (травень) і плавніше, до глибокої осені, сезонне пониження температури.

Ключові слова: Чорне море, острів Зміїний, прибережні води, гідрологічні характеристики

Введение

Гидрологический режим – один из главных факторов, определяющих особенности функционирования морских экосистем северо-западной части Черного моря (СЗЧМ) [1, 2]. Важнейшим инструментом исследования состояния морской среды является регулярный мониторинг гидрологических характеристик, который до конца прошлого века проводился как на сети береговых станций, так и в сезонных и ежегодных экспедициях научных судов в акватории СЗЧМ, и в настоящее время практически прекратился. В этой связи, уникальной научной и практической ценностью обладают комплексные экосистемные наблюдения, которые с 2003 г. проводятся в прибрежных морских водах в районе острова Змеиный Региональным центром интегрированного мониторинга и экологических

исследований (РЦИМ) Одесского национального университета имени И.И. Мечникова (ОНУ имени И.И. Мечникова) [3, 4].

Целью настоящего исследования является обобщение результатов регулярных наблюдений за гидрологическими характеристиками вод Черного моря в районе острова Змеиный, проведенных научной группой РЦИМ ОНУ имени И.И. Мечникова в 2016-2017 гг. в рамках выполнения бюджетной тематики при финансовой поддержке международного проекта «EMBLAS-II» [5].

Объектом исследования являются воды Черного моря в районе острова Змеиный. Предмет исследования – прозрачность, температура и соленость прибрежных морских вод у острова Змеиный в 2016-2017 гг.

Район исследований

Мониторинг гидрологических характеристик прибрежных морских вод у острова Змеиный проводился на сети станций, расположение которых приведено на рис. 1. Ежедневные наблюдения и измерения прозрачности, температуры и электропроводности воды проводились на реперной станции «ZPR» (глубина – 8.0-8.3 м, расстояние от берега – 85 м) в периоды с 10 апреля по 23 декабря 2016 г. и с 28 апреля по 20 декабря 2017 г. Ежемесячные съемки на одном из шести разрезов (выбор разреза про-

водился в зависимости от волнения и направления ветра в период экспедиции) включали по 7 станций в 500-метровой прибрежной зоне моря с глубинами от 0.5 до 32 м, прилегающей к острову Змеиный. Всего в 2016-2017 гг. было проведено одиннадцать экспедиций: 10.04.2016 г., 17.05.2016 г., 21.06.2016 г., 24.07.2016 г., 20.08.2016 г., 25.09.2016 г., 03.11.2016 г., 26.11.2016 г., 28.04.2017 г., 27.05.2017 г. и 25.06.2017 г.

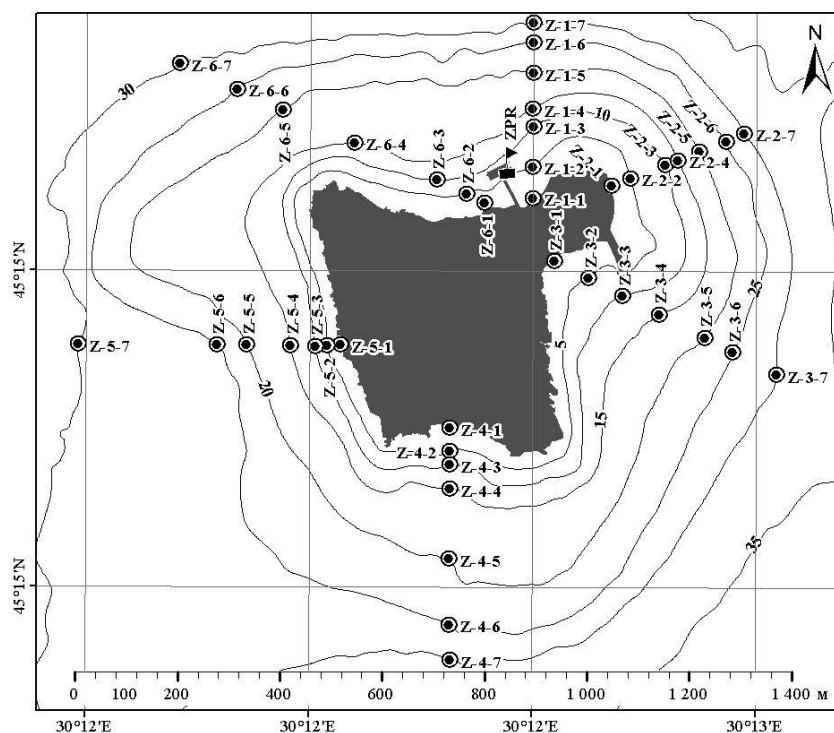
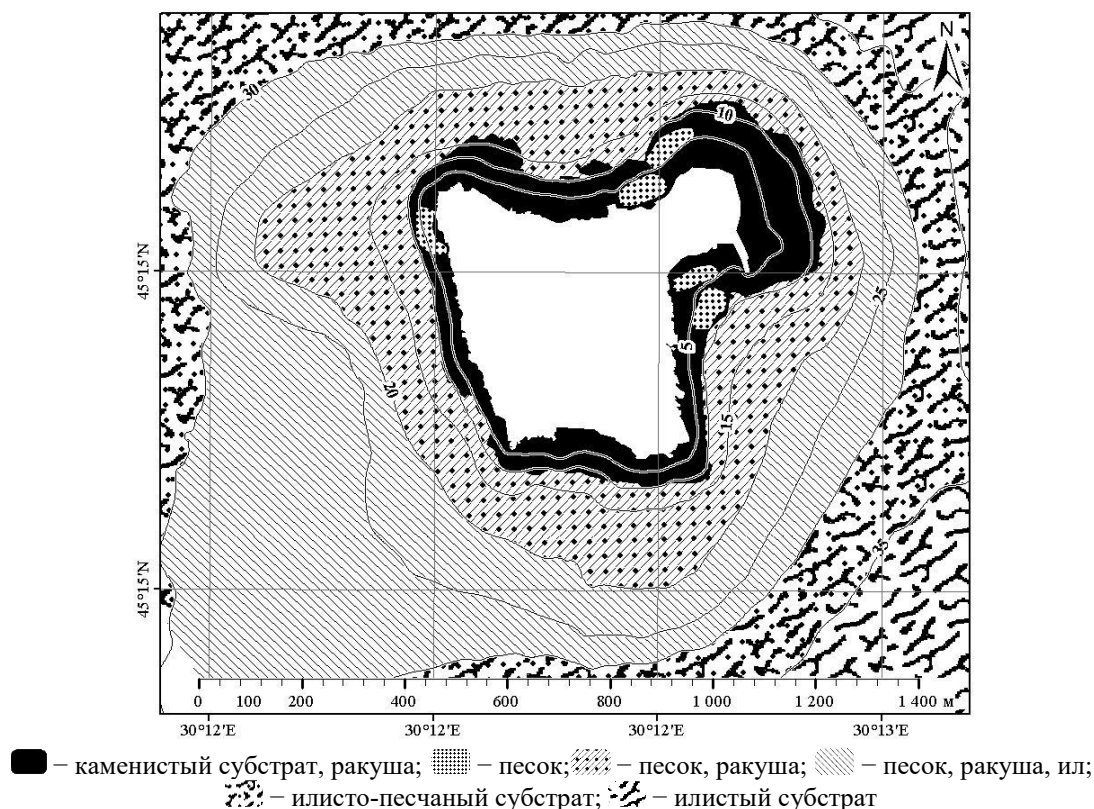


Рис. 1 – Расположение станций наблюдений РЦИМ ОНУ имени И.И. Мечникова за гидрологическими характеристиками в морских водах у острова Змеиный в 2016-2017 гг.

Анализ результатов батиметрических и легководолазных исследований ОНУ имени И.И. Мечникова в 2004-2017 гг., показал, что рельеф шельфовой зоны Черного моря в районе острова Змеиный на расстоянии до 1 км от острова характеризуется резким свалом глубин в северном и южном направлениях, а также более плавным изменением глубины в западном и восточном направлениях. Характерной особенностью подводного рельефа вокруг острова являются прибрежные абразионные террасы на глубинах от 7 до 11 м, наличие крупных наносов и валунов. По данным легководолазных исследований зафиксировано большое количе-

ство мелких впадин, скалистых возвышений и крутых спадов глубин в южной части шельфа у острова, что обусловлено его геологическим строением: остров Змеиный сформировался около 11.5 тыс. лет назад в период новозвксинского периода после последней гляциации в Европе [6]. Формирование подводного рельефа у острова происходило на фоне многолетнего подъема уровня Черного моря и в настоящее время определяется совокупностью гидродинамических факторов (волнение, течения, колебания уровня) и хозяйственной деятельностью (наличие причалов, буны).

По результатам вышеуказанных



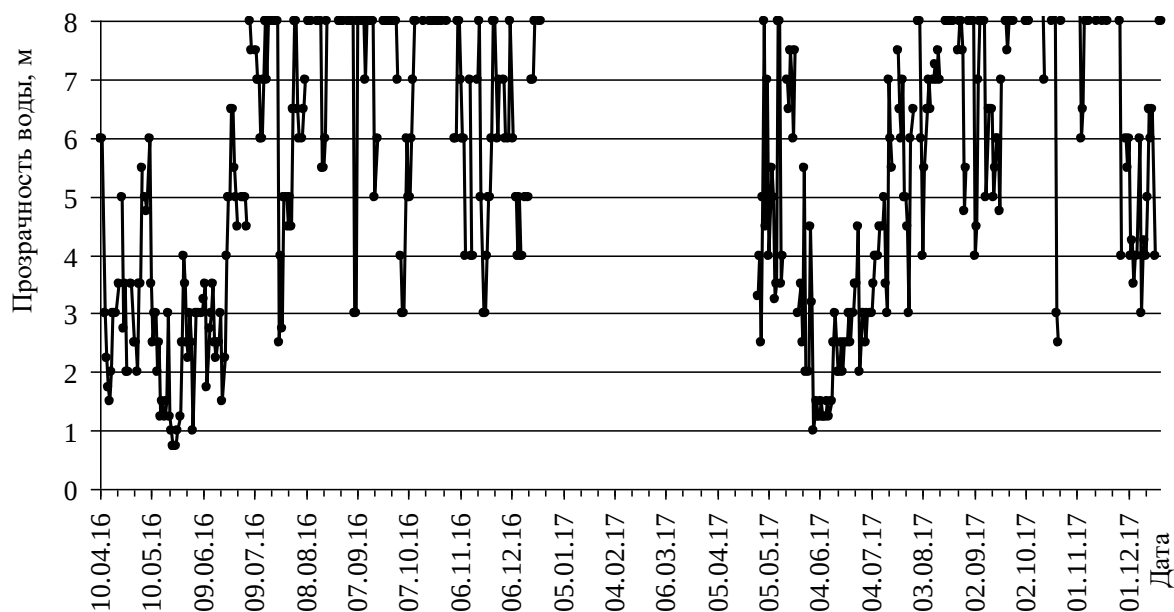


Рис. 3 – Результаты ежедневных наблюдений за прозрачностью воды на станции «ZPR» в 2016 – 2017 гг.

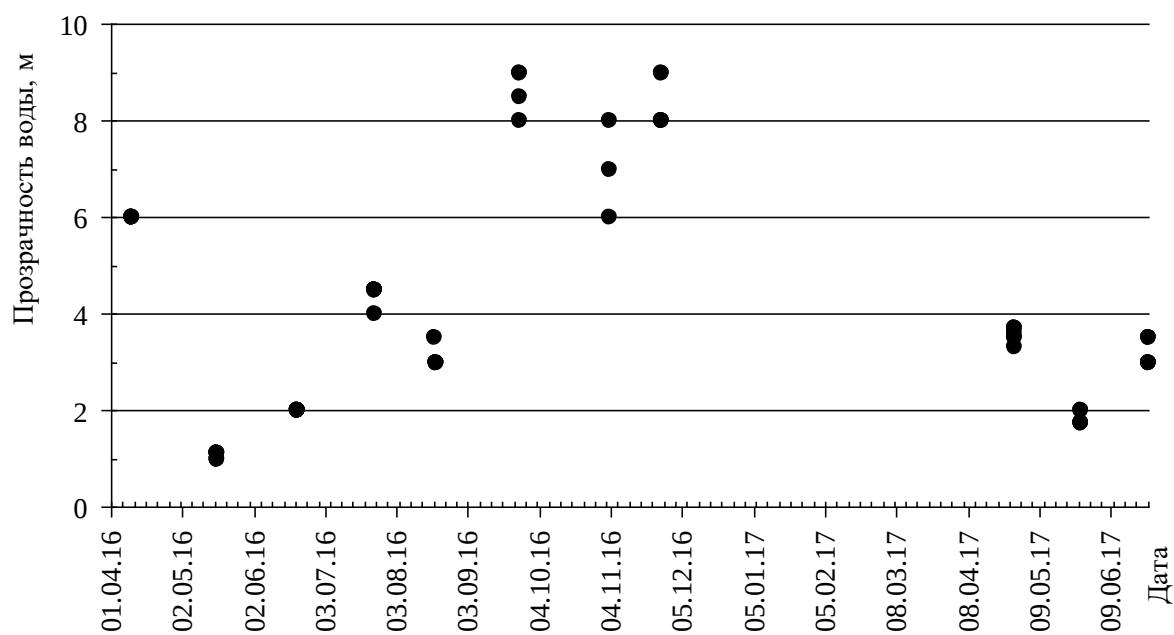


Рис. 4 – Сезонный ход прозрачности морской воды в 500-метровой акватории вокруг острова Змеиный по данным ежемесячных съемок 2016 – 2017 гг.

При этом, сезонный ход прозрачности морских вод 500-метровой прибрежной зоны острова Змеиный практически совпал с изменчивостью прозрачности на станции «ZPR» и характеризовался максимальными значениями в холодный период года (конец сентября – ноябрь) и минимальными – весной (май).

Температура поверхностного слоя воды на станции «ZPR» в апреле – декабре 2016 г. и мае – декабре 2017 г. находилась в преде-

лах от 6.6°C (22.12.16) до 27.0°C (02 – 03.08.16). Границы изменений температуры воды в придонном слое были близки к границам в поверхностном слое – от 6.6°C (22.12.16) до 26.4°C (02.08.16). Временной ход температуры воды в поверхностном и придонном слое воды на станции «ZPR» приведен на рисунке 5. Анализ этих данных показал, что, как и в предыдущие периоды 2004 – 2014 гг. [3, 4, 10], так и в 2016 – 2017 гг. температура воды характеризовалась хорошо

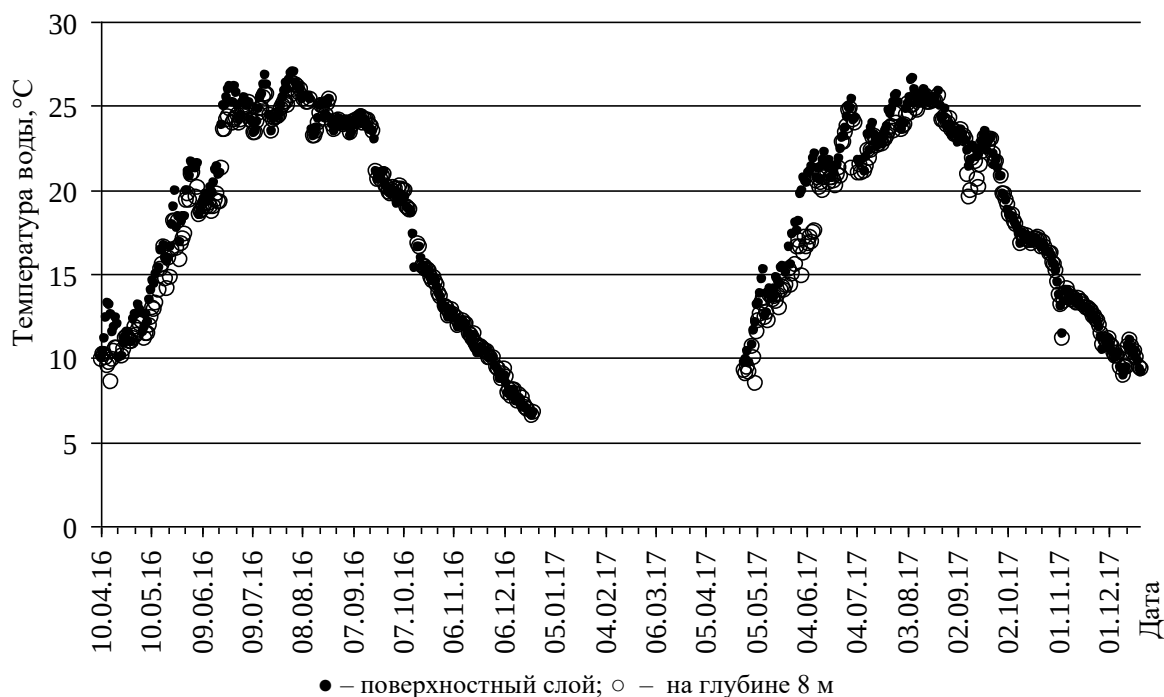


Рис. 5 – Результаты ежедневных измерений температуры воды на станции «ZPR» в 2016 – 2017 гг.

выраженным сезонным ходом как в поверхностном, так и в придонном слое воды, с максимумами в июле – августе.

Среднемесячные величины температуры поверхностного слоя воды в 2016 – 2017 гг. в целом не выходили за пределы периода 2008 – 2014 гг. [10, 11], за исключением минимальных значений ноября и декабря 2016 г. (11.3 ± 0.2 ; $7.9 \pm 0.2^\circ\text{C}$ соответственно) и мая 2017 г. ($14.6 \pm 0.4^\circ\text{C}$). Среднемесячная температура придонного слоя воды для декабря была в 2016 г. самая низкая в периоде 2008 – 2017 гг.

Анализ распределения температуры воды в 500-метровой акватории вокруг острова в 2016 – 2017 гг. показал классическую схему сезонных изменений температуры по глубине и формирования однородных по температуре слоев воды [4]. Вертикальные профили на самых глубоких (седьмых) станциях разрезов во время ежемесячных экспедиций представлены на рис. 6 – 10.

Во время первой съемки в апреле 2016 г. (рис. 6, левый) было зафиксировано начало сезонного прогрева воды до глубины 5 м со слабо выраженным расслоением водной

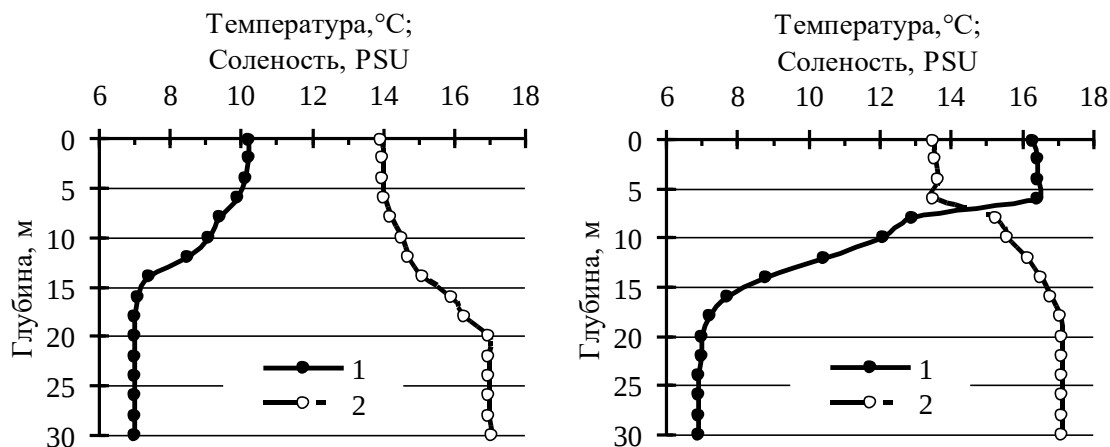


Рис. 6 – Вертикальное распределение температуры (1) и солености (2) на станции Z – 1-7 10.04.2016 г. (слева) и на станции Z – 3-7 17.05.2016 г. (справа)

толщи. Разница температур верхнего и придонного слоев составила 3.2°C ; скачок температуры воды наблюдался в диапазоне глубин 5 – 16 м.

В мае 2016 г. (рис. 6, правый) вследствие интенсивного прогрева поверхностного слоя воды на 6 – 20 м наблюдался термоклин с вертикальными градиентами температуры до $1.2^{\circ}\text{C}/\text{м}$.

Температура придонного слоя воды (глубже 20 м) в мае 2016 г. по сравнению с апрелем 2016 г. практически не изменилась (около 7°C).

В июне 2016 г. (рис. 7, левый) верхний слой воды (0 – 6 м) был прогрет до 24.8°C .

При этом разница температур поверхностного и придонного слоя (> 20 м) воды составила 17.5°C . Термоклин в этот период находился также в диапазоне глубин – 6 – 20 м, однако вертикальный градиент температуры достиг уже $2.3^{\circ}\text{C}/\text{м}$ на 10 – 12 м.

В июле 2016 г. (рис. 7, правый) нижняя граница прогретого верхнего слоя воды, с температурой $24.3 - 25.3^{\circ}\text{C}$, опустилась до глубины 12 м. Термоклин в этот период также сместился глубже по сравнению с июнем на глубины 12 – 20 м, а вертикальный градиент температуры достиг годового максимума – $4.2^{\circ}\text{C}/\text{м}$ (на 18 – 20 м глубины).

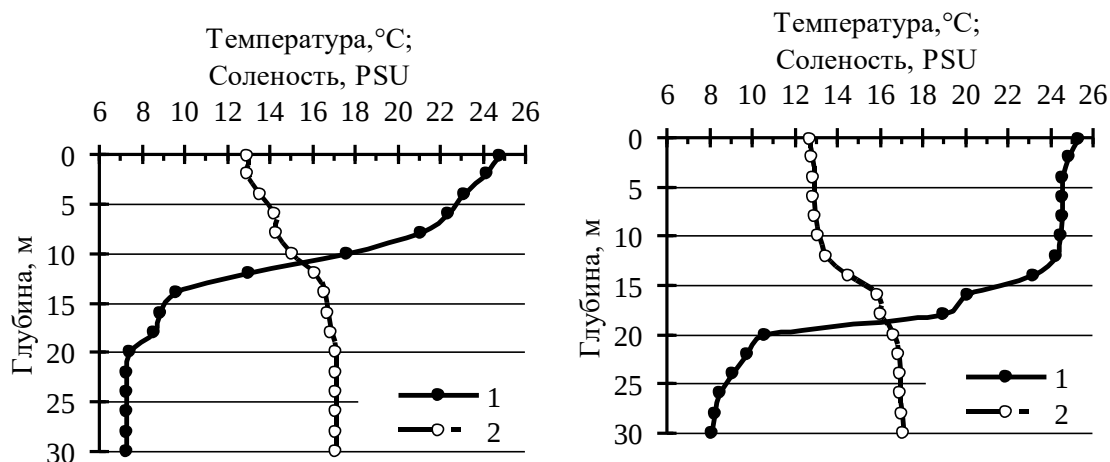


Рис. 7 – Вертикальное распределение температуры (1) и солености (2) на станции Z – 5-7 21.06.2016 г. (слева) и на станции Z – 3-7 24.07.2016 г. (справа)

В августе 2016 г. (рис. 8, левый) наблюдалось резкое расслоение водной толщи на два слоя: верхнего от 0 до 20 м с температурой $24.1 - 25.6^{\circ}\text{C}$ и нижнего с 26

м до дна с температурой ниже 10.9°C . Градиенты температуры в термоклине между этими слоями достигали $3.4^{\circ}\text{C}/\text{м}$.

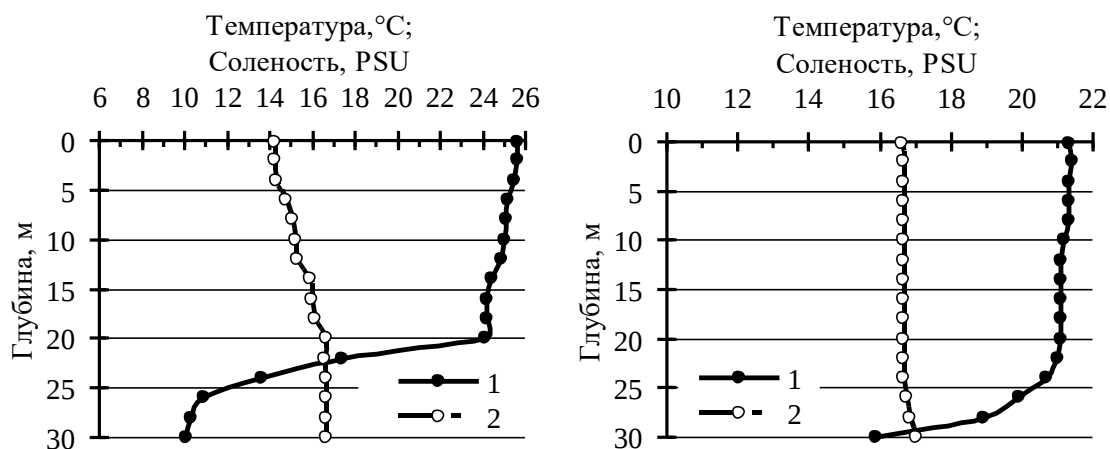


Рис. 8 – Вертикальное распределение температуры (1) и солености (2) на станции Z – 5-7 20.08.2016 г. (слева) и на станции Z – 3-7 25.09.2016 г. (справа)

В сентябре 2016 г. (рис. 8, правый) отмечалось заглупление квазиоднородного верхнего слоя воды до глубины 23 м и понижение его температуры до 21.0 – 21.4°C. Это связано с сезонным уменьшением количества поступающей солнечной энергии и усилением ветровой активности, влияющей на скорость теплообмена. Глубже 23 м до дна (30 м) вертикальные градиенты температуры достигали 1.5°C/м.

Во время ноябрьских съемок 2016 г. (рис. 9, левый и правый) наблюдалось уста-

новление температурной однородности от поверхности до 30 м. Причем за время между съемками (23 дня) средняя температура всего столба воды вследствие сезонного выхолаживания морских вод понизилась с 13 до 11°C. В начале ноября 2016 г. температурная инверсия, вызванная интенсивным теплообменом поверхностного слоя воды с атмосферой, зафиксирована до 8 м глубины; в конце ноября 2016 г. – до 22 м глубины.

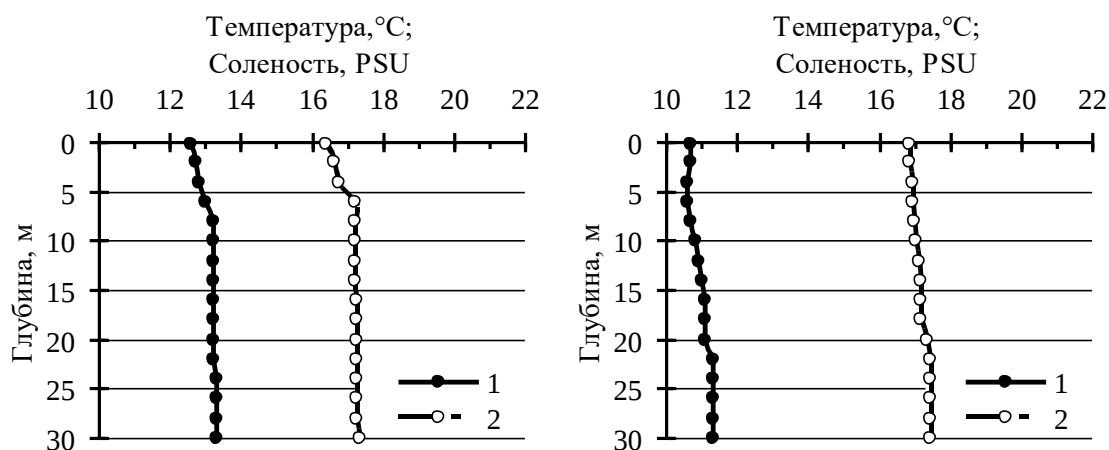


Рис. 9 – Вертикальное распределение температуры (1) и солености (2) на станции Z – 3-7 03.11.2016 г. (слева) и на станции Z – 3-7 26.11.2016 г. (справа)

В 2017 г. сезонность в смене температурных характеристик морских вод у острова Змеиный в значительной степени повторилась, но с некоторыми отличиями.

Во время первой съемки в апреле 2017 г. (рис. 10, левый) скачок температуры воды наблюдался в диапазоне глубин 6 – 16 м. Разница температур поверхностного и придон-

ного слоя составила 2.9°C.

В мае 2017 г. (рис. 10, правый), в отличие от мая 2016 г., вследствие активного ветрового перемешивания расслоение водной толщи по температуре не наблюдалось. Вместо этого отмечено плавное понижение температуры воды с 17.9°C на поверхности до 7°C на 30 м.

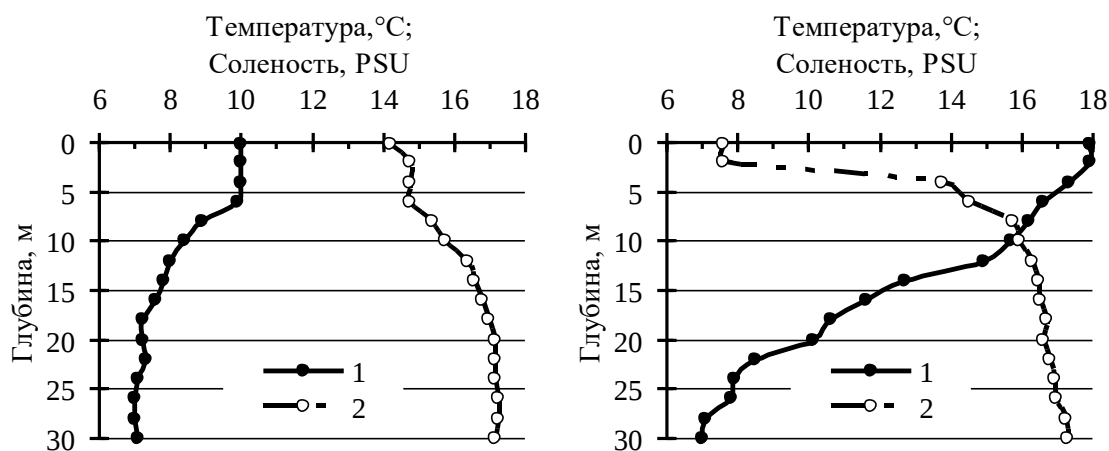


Рис. 10 – Вертикальное распределение температуры (1) и солености (2) на станции Z – 1-7 28.04.2017 г. (слева) и на станции Z – 3-7 27.05.2017 г. (справа)

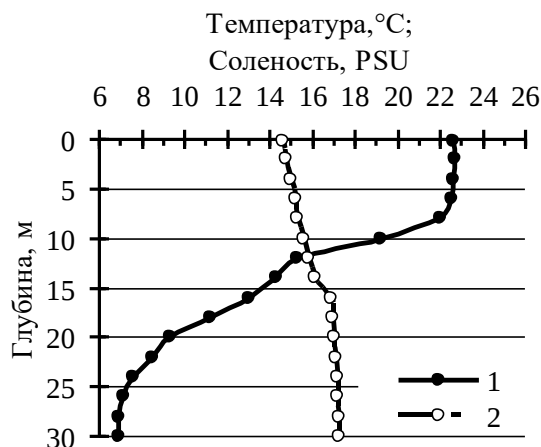


Рис. 11 – Вертикальное распределение температуры (1) и солености (2) на станции Z – 3-7 25.06.2017 г.

В июне 2017 г. (рис. 11) верхний слой воды (0 – 6 м) был прогрет до 22.6°C. Разница температур поверхностного и придонного (≥ 26 м) слоя воды составила 15.7°C. Вертикальный градиент температуры в размытом слое термоклины достигал 2.0°C/м (на глубине 10 – 12 м).

Анализ сезонного изменения температуры воды на разных глубинах по данным ежемесячных съемок 2016 – 2017 гг. (рис. 12) выявил возникновение значительной разницы температур поверхностного и придонного

слоя уже с мая – месяца, в отличие от Одесского залива [12, 13]: в 2016 г. – 9.5°C, в 2017 г. – 11.6 °C. В июне – июле 2016 г. эта разница увеличилась до 18.7 и 17.7°C соответственно, что было максимумом за исследуемый период. В августе 2016 г. эта разница немного уменьшилась и составила 15.9°C, в сентябре 2016 г. она значительно уменьшилась до 5.5°C, а в ноябре 2016 г. составила менее 1 градуса, причем в придонном слое вода была теплее, чем в поверхностном.

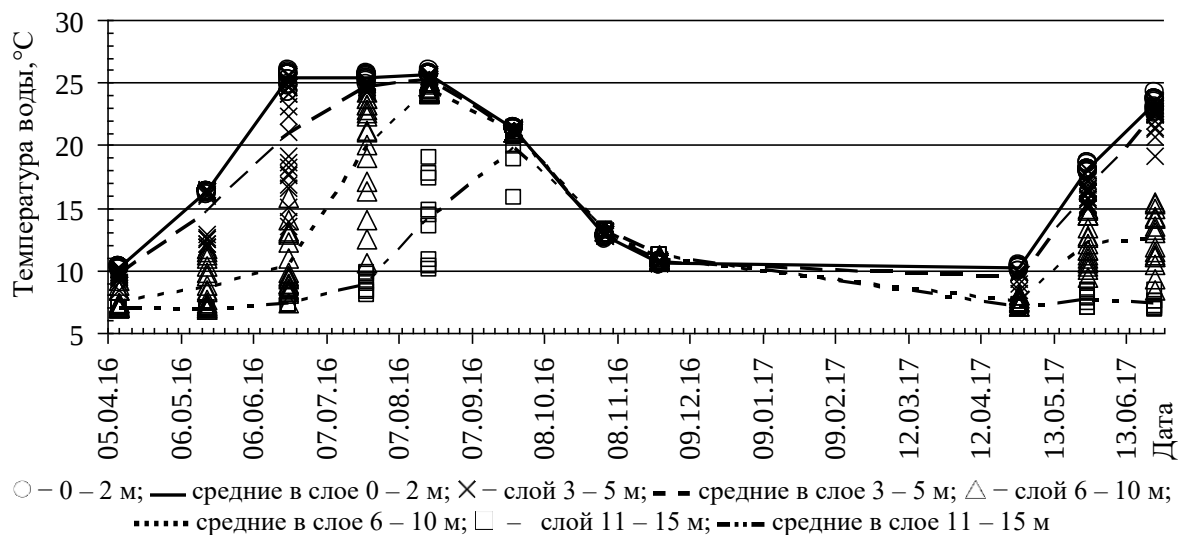


Рис. 12 – Температура воды в разных слоях в 500-метровой акватории у острова Змеиный в 2016 – 2017 гг.

Сравнение сезонного изменения температуры воды на разных глубинах у острова Змеиный и в Одесском заливе [12] показало, что близость первого к Основному черноморскому течению [14] и к центральным частям моря вызывала там более раннее, в отличие

от Одесского залива, весеннее вертикальное расслоение воды по температуре (май – месяц) и более плавное, до глубокой осени, сезонное понижение температуры за счет аккумулярованного летом тепла в водной толще открытого моря.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что температурный режим прибрежных морских вод у острова Змеиный в 2016 – 2017 гг. характеризовался хорошо выраженной сезонностью, определяемой взаимодействием с атмосферой (весенне – летний прогрев / осенне – зимнее охлаждение). Результаты наших наблюдений подтверждают выводы работы [15] о том, что температурный режим прибрежных вод Черного моря определяется радиационным балансом и процессами тепло- и энергообмена поверхностных слоев воды с атмосферой, а также турбулентным перемешиванием.

Соленость поверхностного слоя воды на станции «ZPR» в апреле – декабре 2016 г. и мае – декабре 2017 г. находилась в пределах от 8.23 PSU (26.05.17) до 18.27 PSU (16.08.17; 23.08.17) при среднем значении 15.71 ± 0.12 PSU. Диапазон изменения солености воды придонного слоя был уже более чем на треть: от 12.26 PSU (30.06.17) до 18.34 PSU (16.08.17; 23.08.17) при среднем значении 16.32 ± 0.08 PSU.

Временной ход солености в 2016 – 2017 гг. в поверхностном и придонном слое воды на станции «ZPR» приведен на рисунке 13. Анализ этих данных показал, что, как и в 2008 – 2014 гг. [10, 11], в исследуемый период соленость у острова Змеиный имела сезонный ход как в поверхностном, так и в придонном слое воды, с максимумами осе-

нью – зимой. Периодически в этом сезонном ходе отмечались резкие уменьшения значений солености в поверхностном (а иногда и в придонном) слое воды 14 – 15.04.2016 г. (до 9.62 PSU), 21 – 24.05.2016 г. (до 10.36 PSU), 03.06.2016 г. (до 10.27 PSU), 11.06.2016 г. (до 10.13 PSU), 14 – 31.07.2016 г. (до 12.22 PSU), 17 – 24.08.2016 г. (до 14.05 PSU), 05 – 18.09.2016 г. (до 13.11 PSU), 02 – 07.10.2016 г. (до 12.68 PSU), 05 – 09.11.2016 г. (до 14.45 PSU), май – середина июня 2017 г. (до 7.48 PSU), 23 – 27.07.2017 г. (до 13.55 PSU), 02 – 03.09.2017 г. (до 14.50 PSU), 17 – 18.09.2017 г. (до 14.68 PSU), 20 – 22.10.2017 г. (до 12.89 PSU), 27.11. – 06.12.2017 г. (до 14.61 PSU). Эти явления, по нашему мнению, могли быть следствием кратковременных локальных синоптических ситуаций, явившихся причиной адвекции в район острова Змеиный распресненных водных масс со взморья р. Дунай или из СЗЧМ [3, 16].

Если в 2016 г. среднемесячные величины солености воды не выходили за пределы таковых для периода 2008 – 2014 гг. [10, 11], то в 2017 г. – напротив: в августе наблюдалась максимальная для этого месяца среднемесячная соленость (17.44 ± 0.15 и 17.71 ± 0.11 PSU в поверхностном и в придонном слое соответственно), а в декабре – минимальная (16.04 ± 0.21 и 16.10 ± 0.20 PSU в поверхностном и в придонном слое соответственно) в период наблюдений 2008 – 2017 гг.

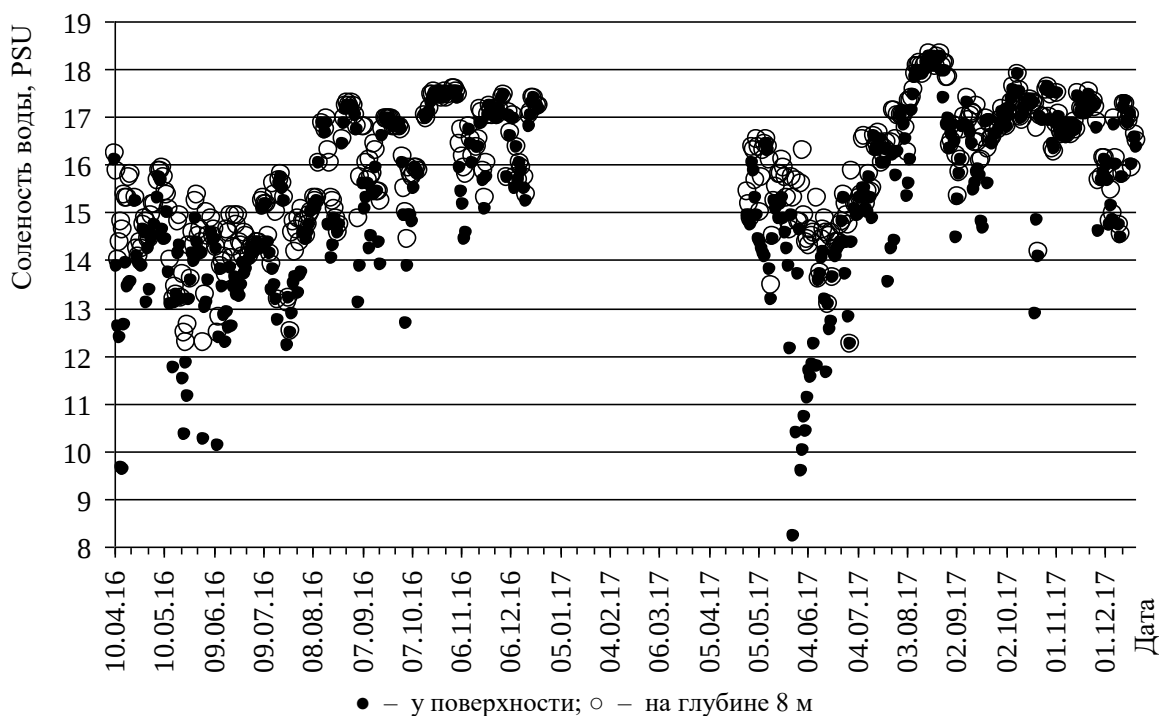


Рис. 13 – Результаты ежедневных измерений солености (по электропроводности) морской воды на станции «ZPR» в 2016 – 2017 гг.

Анализ вертикального распределения солености в 500-метровой акватории вокруг острова по ежемесячным экспедициям в 2016 – 2017 гг. показал следующее (рис. 6 – 11).

Во время первой съемки 2016 г. в апреле (рис. 6, левый) отмечено плавное увеличение величин солености с 13.91 PSU в верхнем слое до 16.97 PSU на глубине 20 м. С глубины 20 м до дна соленость оставалась постоянной.

В мае 2016 г. (рис. 6, правый) нами было зафиксировано наличие слоя распресненной морской воды с соленостью 13.50 – 13.61 PSU от поверхности до 6 м. Глубже, до глубины 8 м, отмечено резкое увеличение солености до 15.26 PSU с вертикальным градиентом солености – 0.29 PSU/м. Еще глубже наблюдалось плавное увеличение солености до 20 м глубины.

В июне 2016 г. (рис. 7, левый) вертикальное распределение солености практически повторило апрельское, с той лишь разницей, что в июне соленость поверхностного слоя была примерно на 1 PSU меньше.

В июле 2016 г. (рис. 7, правый) измерения солености выявили в водной толще два слоя: верхний (от поверхности до 12 м) с соленостью 12.69 – 13.44 PSU и нижний (с 20 м до дна) с соленостью 16.68 – 17.09 PSU. Максимальный вертикальный градиент солености при переходе между слоями достигал 0.65 PSU/м (на 14 – 16 м глубины).

В августе 2016 г. (рис. 8, левый), также как и в апреле 2017 г., отмечено плавное увеличение величин солености с 14.20 PSU в

верхнем слое до 16.68 PSU на глубине 20 м. С 20 м до дна соленость также оставалась постоянной.

В сентябре 2016 г. (рис. 8, правый) наблюдались практически одинаковые по величине значения солености по всей толще воды: диапазон изменения солености составлял 0.41 PSU.

Аналогичная сентябрьской схема вертикального распределения солености наблюдалась также в конце ноября, в отличие от начала ноября, когда такая же схема была нарушена наличием поверхностного (до глубины 4 м) слоя воды с меньшими величинами солености 16.38 – 16.74 PSU по сравнению со значениями на больших глубинах – 17.27 – 17.33 PSU.

Вертикальное распределение солености в апреле 2017 г. (рис. 10, левый) в значительной степени повторило таковое для апреля 2016 г. (рис. 6, левый), как и распределение солености в июне 2017 г. (рис. 11) было в значительной степени похоже на июньское 2016 г. (рис. 7, левый).

В мае 2017 г. (рис. 10, правый) поверхностный слой (0 – 2 м) у острова Змеиный наполняла сильно распресненная водная масса с соленостью 7.58 PSU, явно имевшая происхождение со взморья реки Дунай. Далее по глубине до 8 м следовал галоклин с максимальным вертикальным градиентом солености, зафиксированным нами в 2016 – 2017 гг., – до 3.08 PSU/м, а глубже 8 м до дна наблюдалось плавное увеличение солености с 15.73 до 17.27 PSU.

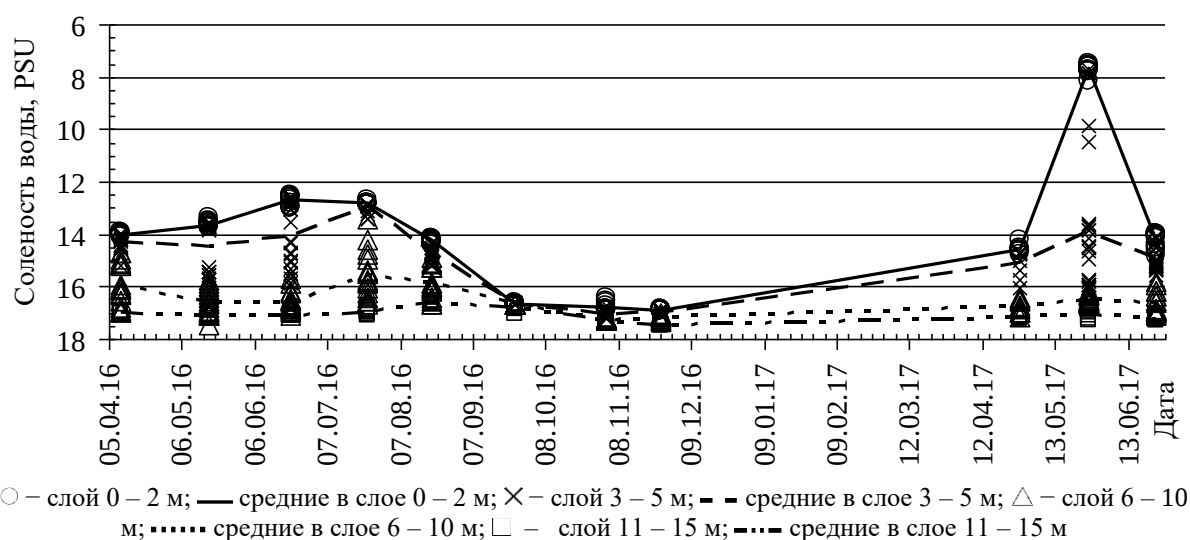


Рис. 14 – Соленость воды в разных слоях в 500-метровой акватории у острова Змеиный в 2016 – 2017 гг.

По измерениям на всех станциях 2016 – 2017 гг. в 500-метровой акватории вокруг острова Змеиный нами были построены временные распределения солености в разных слоях водной толщи (рис. 14), которые показали следующее.

Значительное расслоение водной толщи по солености наблюдалось с апреля по август 2016 г.: разница солености поверхностного (0 – 2 м) и придонного (21 – 30 м) слоя достигала максимума в июне – 4,60 PSU. В сентябре и ноябре 2016 г. разница солено-

сти поверхностного и придонного слоев уменьшилась до минимума в 0,41 и 0,88 PSU соответственно. В апреле – июне 2017 г. расслоение водной толщи по солености было почти аналогично таковому в тот же период 2016 г., – наблюдалась классическая схема сезонного включения акватории моря у острова Змеиный во фронтальную зону распространения вод реки Дунай [14] с минимальными значениями солености поверхностного (0 – 2 м) и подповерхностного (3 – 10 м) слоя воды.

Выводы

Исследование гидрологических характеристик прибрежных морских вод в районе острова Змеиный позволило охарактеризовать сезонные особенности их распределения в 2016 – 2017 гг. следующим образом.

Сезонный ход прозрачности морской воды в 2016 – 2017 г. был ограничен минимумом в 0,8 м в мае 2016 г. и максимумом – 9,0 м в сентябре, ноябре 2017 г.

Распределение температуры морской воды в 2016 – 2017 гг., которая изменялась от 6,6°C до 27,0°C, характеризовалось хорошо выраженным сезонным ходом, который отражал сезонные изменения радиационного баланса и процессы теплообмена на границе море/ атмосфера, а также влияние адвекции водных масс из других районов моря. Сравнение результатов измерений с данными за прошлые годы показало, что в исследуемый период наблюдалась самая низкая среднемесячная температура воды в ряду 2008 – 2017 гг. для октября – ноября 2016 г. ($11,3 \pm 0,2$; $7,9 \pm 0,2$ °C соответственно) и мая 2017 г. ($14,6 \pm 0,4$ °C).

Исследование солености морской воды у острова Змеиный, которая колебалась в 2016 – 2017 гг. в пределах от 7,48 до 18,34 PSU, показало, что максимальные амплитуды ее изменений были в весенне – летние периоды года, а минимальные – в осенне – зимние при среднем значении $15,49 \pm 0,04$ PSU. Се-

зонность в изменении величин солености в 2016 – 2017 гг. претерпевала спорадические возмущения в результате адвекции рассредоточенных водных масс со взморья реки Дунай из СЗЧМ.

Анализ данных о распределении температуры и солености в водной толще позволил выявить сезонные особенности вертикальной стратификации морских вод в районе острова Змеиный в 2016 – 2017 гг.: более раннее, в отличие от Одесского залива, весеннее вертикальное расслоение воды по температуре (май – месяц), более плавное, до глубокой осени, сезонное понижение температуры за счет аккумулированного морем тепла летом и схему сезонного включения исследуемой акватории во фронтальную зону распространения вод реки Дунай, что явилось причиной уменьшения солености морской воды на глубинах от 0 до 10 м.

Настоящая работа подготовлена в рамках научного проекта 2017 – 2019 гг. «Провести морские экосистемные исследования и разработать научную основу для внедрения директивы ЕС по морской стратегии» по заказу Министерства образования и науки Украины с использованием результатов части полевых исследований морских вод в районе острова Змеиный 2016 – 2017 гг., которые финансировались международным (EU-UNDP) проектом EMBLAS-II.

Литература

1. Большаков В. С. Трансформация речных вод в Черном море. Киев: Наук. думка, 1970. 328 с.
2. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2: Черное море / Ильин Ю. П. и др. Севастополь: УкрНИИГМИ, 2012. 421 с.
3. Сминтина В. А. та ін. Острів Зміїний: екосистема прибережних вод: монографія. Одеса: Астропринт, 2008. 228 с.
4. Газетов Е. И., Мединец В. И. Исследование изменчивости основных физико-химических характеристик прибрежных морских вод у о. Змеиный в 2004-2014 гг. *Вестник ОНУ имени И.И. Мечникова*. Одес-

са, 2016. Т. 21. Вып. 2(29). С. 24-45.

5. Поліпшення моніторингу довкілля Чорного моря, фаза 2 - EMBLAS-II: Проект UNDP- EU, 2015-2018. URL: <http://www.emblasproject.org>

6. Звіт про науково-технічну роботу № 343 «Проведення комплексного обстеження та розробка системи інтегрованого екологічного моніторингу і довгострокових наукових досліджень острову Зміїний та прилеглої шельфу». Під ред. В.А. Сминтини. Одеса, 2003. 384 с. Рукопис ОНУ ім. І.І. Мечникова.

7. Руководство по гидрологическим работам в морях и океанах. Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. 725 с.

8. Руководство пользователя портативного прибора HQ 40d (Hach). 28 с.

9. Background papers and supporting data on the Practical Salinity Scale 1978. *Tech. Pap. Mar. Sci. Unesco*, 1981. № 37. 145 p.

10. Звіт про науково-технічну роботу № 478 «Створення системи інтегрованого екологічного моніторингу для оцінки якості морського середовища району Чорного моря біля острова Зміїний». Під ред. В.І. Медінця. Одеса, 2013. 478 с. Рукопис ОНУ ім. І.І. Мечникова.

11. Звіт про науково-технічну роботу № 506 «Оцінити довгострокові зміни та обґрунтувати заходи щодо стабілізації екологічного стану прибережних вод та берегової смуги острову Зміїний». Під ред. В.І. Медінця. Одеса, 2015. 497 с. Рукопис ОНУ ім. І.І. Мечникова.

12. Газетов Е. И., Мединец В. И., Снигирев С. М., Конарева О. П., Снигирев П. М., Мединец С. В., Абакумов А. Н., Пищук В. З., Ковалева Н. В., Солтыс И. Е. Исследования гидрологических характеристик морских вод в Одесском заливе в 2016-2017 гг. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 2018. Вып. 30. С. 65-77.

13. Дерезюк Н.В., Медінець В.І., Газетов Є.І., Люмкіс П.В. Дослідження фітопланктону Одеської затоки в 2016-2017 рр. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*, 2018. Вип. 18. С. 1 - 20.

14. Иванов В. А., Белокопытов В. Н. Океанография Черного моря. Севастополь: Морской гидрофизический институт, 2011. 212 с.

15. Ильин Ю. П., Лемешко Е. М., Станичный С. В. Изменение гидрологической структуры вод под действием ветра на придунайском шельфе Чёрного моря по данным полигонных и спутниковых наблюдений. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа* : сб. науч. тр. Севастополь, 1999. С. 91–110.

16. Ильин Ю. П. Гидрологический режим распространения речных вод в северо-западной части Черного моря. *Научные труды УкрНИГМИ*, 2006. Вып.255. С. 242-251.

References

1. Bolshakov, V.S. (1970). Transformatsiya rechnykh vod v Chernom more [Transformation of river waters in the Black Sea]. Kiev: Naukova dumka. 328. [In Russian].

2. Ilyin, Yu.P., Repetin, L.N., Belokopytov, V.N., Goryachkin, Yu.N., Dyakov, N.N., Cubryakov, A.A., Stanichnyi, S.V. (2012). Gidrometeorologicheskie usloviya morey Ukrainy. Tom 2: Chernoe more [Hydrometeorological conditions of the seas of Ukraine. Volume 2: The Black Sea]. Sevastopol: UkrNIGMI. 421 [In Russian].

3. Smyntyna, V.A., Medinets, V.I., Suchkov, I.O. et.al. (2008). Ostriv Zmiinyi: Ecosystema prybereznykh vod : Monografiya. [Zmiinyi Island: Ecosystem of coastal waters: Monograph]. Odessa, Astroprint. 228. ISBN 978-966-190-149-9. [In Ukrainian].

4. Gazyetov, Ye.I., Medinets, V.I. (2016). Issledovanie izmenchivosti osnovnykh fiziko-khimicheskikh kharakteristik pribrezhnykh morskikh vod u o. Zmeinyy v 2004-2013 gg. [Investigation of the basic physico-chemical characteristics variability in the Zmiinyi coastal sea waters in 2004-2013]. *Herald of Odessa National I.I. Mechnikov University. Series: geography and geology*. 21. 24-45 [In Russian].

5. UNDP-EU Project "Polipshenya moniroringy dovkilliya Chornogo morya. Faza 2 – EMBLAS-II (2015-2018) [UNDP-EU Project "Improvement of environmental monitoring in the Black Sea, Phase 2 - EMBLAS-II"]. <http://www.emblasproject.org>

6. Medinets V.I. et al. (2003). Provedennya kompleksnogo obstezhennya ta rozrobka sy`stemy` integrovanogo ekologichnogo monitory`ngu i dov gostrokovy`x naukovy`x doslidzhen` ostrovu Zmiyiny`j ta pry`leglogo shel`fu [Conducting a complex investigation and development of integrated environmental monitoring system and long-term scientific research of the Zmiinyi Island and adjacent shelf]. Report on scientific and technical work № 343. Odessa: Odessa National I.I. Mechnikov University. 384. [In Ukrainian].

7. Rukovodstvo po gidrologicheskim rabotam v moryakh i okeanakh. (1977). [Guidelines for hydrological work in the seas and oceans]. Leningrad: Gidrometeoizdat. 725 [In Russian].

8. HACH LANGE (2006). The user manual of portable device HQ 40d (Hach). 28.

9. UNESCO (1981). Background papers and supporting data on the Practical Salinity Scale 1978. *Tech. Pap. Mar. Sci.*, № 37.

10. Medinets V.I. et al. (2013) Stvorenniya sy`stemy` integrovanogo ekologichnogo monitory`ngu dlya ocinky` yakosti mors`kogo seredovy`shha rajonu Chornogo morya bilya ostrova Zmiiny`j [Creation of integrated environmental monitoring system for assessing the quality of the Black Sea marine environment near the Zmiinyi Island]. Report on scientific and technical work № 478. Odessa: Odessa National I.I. Mechnikov University. 478. [In Ukrainian].
11. Medinets V.I. et al. (2015). Ociny`ty` dovgostrokovy zminy` ta obg`runtuvaty` zaxody` shhodo stabilizaciyi ekologichnogo stanu pry`berezny`x vod ta beregovoyi smugy` ostrovu Zmiiny`j [To evaluate of long-term changes and substantiate measures to stabilize the ecological status of the Zmiinyi Island coastal waters and the coastal zone]. Report on scientific and technical work № 506. Odessa: Odessa National I.I. Mechnikov University. 497. [In Ukrainian].
12. Gazyetov Ye.I., Medinets V.I., Snigirov S.M., Konareva O.P., Snigirov P.M., Medinets S.V., Abakumov A.N., Pitsyk V.Z., Kovalova N.V., Soltys I.E. (2018). Issledovaniya gidrologicheskikh harakteristik morskikh vod v Odesskom zalive v 2016-2017 gg. [Study of Marine Waters Hydrological Characteristics in Odessa Bay in 2016-2017]. *Man and environment. Issues of neoecology*. 30. 65-77 [In Russian].
13. Derezyuk N.V., Medinets V.I., Gazyetov Ye.I., Lyumkis P.V. (2018). Doslidzhennya fitoplanktonu Odeskoyi zatoky v 2016-2017 rr. [Study of Phytoplankton in Odesa Bay in 2016-2017]. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University series «Ecology»*. 18. 1-20. [In Ukrainian].
14. Ivanov, V.A., Belokopyitov, V.N. (2011). Okeanografiya Chernogo morya [Oceanography of the Black Sea], Sevastopol: Gidrometeoizdat. 212 [In Russian].
15. Ilyin, Yu.P., Lemeshko, E.M., Stanichnyi, S.V. (1999). Izmenenie gidrologicheskoy struktury vod pod deystviem vetra na pridunayskom shelfe Chernogo morya po dannym poligonnykh i sputnikovykh nablyudeniy [The change in water hydrological structure under wind influence at the Danube shelf of the Black Sea according to the polygon and satellite observations]. Sevastopol. 91-110. [In Russian].
16. Ilyin, Yu.P. (2006). Gidrologicheskiy rezhim rasprostraneniya rechnykh vod v severo-zapadnoy chasti Chernogo morya [Hydrological regime of river water distribution in the northwestern part of the Black Sea]. Sevastopol: UkrNIGMI. Iss. 255. 242-251 [In Russian].

Надійшла до редколегії 19.04.2019