

УДК 551.465:504.2(262.5)

DOI: 10.18524/2303-9914.2019.2(35).183727

**Р. В. Гаврилюк**, канд. геогр. наук, доцент**Н. А. Берлинский**, доктор геогр. наук, профессор

Одесский государственный экологический университет,

кафедра океанологии и морского природопользования,

ул. Львовская, 15, Одесса, 65016

nberlinsky@ukr.net, raiisagavr@gmail.com

## **ОПАСНЫЕ МОРСКИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ**

Климатические изменения планетарного масштаба заставляют должным образом реагировать на возможные негативные последствия в региональном аспекте, где их проявления могут быть дополнительно обусловлены спецификой физико-географических факторов и условий. По этой причине рассматривается комплекс экстремальных погодных явлений Северо-западной части Черного моря для возможной разработки превентивных мер в ближайшей перспективе. Анализ использованных данных прямых наблюдений и научных публикаций позволяет выделить наиболее актуальные сведения и выполнить их интерпретацию. В частности, рассмотрена динамика уровня моря, интенсивность аномальных погодных условий, процессы формирования ледовых условий, осолонения в устьевых областях рек и др. Приведены конкретные примеры негативных природных явлений радикальным образом влияющих на социально-экономическую базу региона и безопасность населения.

**Ключевые слова:** северо-западная часть Черного моря, уровень моря, ледовые условия, осолонения в устьях рек, эвтрофирование.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Периодически северо-западная часть Черного моря находится под воздействием экстремальных погодных явлений. Оценка экстремальных погодных явлений относится к весьма приоритетным, так как связана с различными видами ущерба природной среде и социально-экономическим объектам.

Обобщенные характеристики о морских опасных гидрометеорологических явлениях в Азово-Черноморском бассейне приводятся в работе [1], опубликованной около 20 лет назад и включающей анализ материалов наблюдений за 1969–1997 гг. В работе [2] по материалам наблюдений за 1997–2009 гг. представлен анализ природных явлений в Черном и Азовском морях, которые представляют реальную или потенциальную опасность для жизни людей и экономики региона. К нерешенным проблемам относится детализация опасных морских гидрометеорологических явлений в акваториях портов и устьевых

областей северо-западной части Черного моря и основные закономерности их развития на современном этапе.

*Целью* данного исследования является характеристика наиболее значимых для региона опасных морских гидрологических явлений и выявление тенденций их изменения под влиянием климатических и антропогенных факторов на основе собственных исследований и литературных данных. Результаты исследований могут служить основой для разработки превентивных мер по недопущению или снижению негативного воздействия на морехозяйственную деятельность.

*Объект исследования* – опасные морские гидрологические явления в северо-западной части Черного моря.

*Предмет исследований* – изменчивость опасных морских гидрологических явлений под влиянием природных и антропогенных факторов.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Для подготовки работы использованы доступные данные наблюдений за ветро-волновыми параметрами, температурой вод и уровнем моря на станциях, расположенных в северо-западной части Черного моря. При обработке информации использованы методы математической статистики. Кроме того, использованы данные гидрометеорологических наблюдений за такими явлениями как осадки, туманы, смерчи, формирование и продолжительность ледовых условий, прямые и косвенные наблюдения за морскими течениями, изменчивость вертикальной структуры водных масс в импактных зонах, прежде всего в устьевых областях рек. Важнейший источник информации – это результаты и данные, опубликованные в научной литературе и их интерпретация.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Экстремальные морские погодные явлениям в северо-западной части Черного моря, их критерии и возможные негативные последствия для морехозяйственной деятельности представлены в табл. 1 [2, 3]. В соответствии с работами [1, 2] повторяемость различных видов морских опасных явлений в Черном море неодинакова. Наибольшую повторяемость имеет сильный штормовой ветер, следующие за ним сгонно-нагонные колебания уровня и волнение имеют повторяемость почти в два раза меньшую. Следует отметить, что могут возникать несколько морских опасных явлений одновременно. Рассмотрим подробнее некоторые морские опасные явления.

*Аномальные колебания уровня моря.* По данным срочных наблюдений наиболее высокие и самые низкие положения уровня моря наблюдаются в районе северо-западного шельфа Черного моря. В районе Одессы размах колебаний уровня достигает 2,75 м, что в сочетании с процессом тектонического колебания суши приводит к затруднениям и проблемам в хозяйственной деятельности. Эти явления связаны со сгонно-нагонными процессами,

вызванными штормовыми ветрами. Под действием северо-восточных ветров возникают устойчивые течения, направленные на запад. Они создают нагон в устьях Дуная и Днестра. Ветер противоположного направления вызывает сгон. Разница абсолютных экстремумов уровня моря составляет около 3 м и уменьшается в восточном направлении. Наиболее значительные сгонно-нагонные колебания уровня наблюдаются в северо-западном районе Черного моря (порты Одесса, Черноморск, Южный).

Таблица 1

**Экстремальные морские погодные явления в северо-западной части Черного моря, их критерии и возможные негативные последствия для морехозяйственной деятельности**

Явление	Критерий особой опасности	Возможные негативные последствия и события
1	2	3
Ветер	Скорость ветра более $15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$	Сильное волнение в море, рост ветровых нагрузок на суда и береговые сооружения
Волнение моря	Высота волн в Черном море более 6 м, в портах более 3,5 м	Разрушение береговых сооружений, опрокидывание малых судов
Уровень моря	Колебания уровня моря выше или ниже критических отметок	Подтопление населенных пунктов или береговых сооружений, осушка береговой полосы, обмеление подходов каналов, прекращение судоходства
Цунами	Повышение уровня моря выше критической отметки	Подтопление населенных пунктов
Тягун в бухтах и портах	Интенсивность 3 балла и выше	Повреждение судов и причалов, прекращение погрузо-разгрузочных работ
Течения	Прибрежные скоростью более $1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , в проливах скоростью более $2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$	Снос судов, в зимнее время – дрейф льда
Обледенение судов	Скорость отложения льда более $0,7 \text{ см}\cdot\text{ч}^{-1}$	Уменьшение устойчивости судна, угроза опрокидывания
Раннее начало устойчивого ледообразования	В северо-западной части Черного моря – раньше 10 декабря, а в лиманах – раньше 1 декабря.	Прекращение судоходства
Дрейф льда	Мощность 7-10 баллов в северо-западной части Черного моря	Разрушение береговых сооружений
Образование прибрежного припая	Толщиной 65 см и более в северо-западной части Черного моря	Прекращение судоходства

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Туман	При видимости менее 100 м, продолжительностью более 12 часов	Столкновения судов, невозможность эксплуатации портовых сооружений и вертолетного обслуживания буровых платформ
Смерч	Размеры в поперечнике до 50 м, высота 100-150 м	Разрушение сооружений и надстроек небольших плавсредств
Дождь, снег	Сумма осадков более 30 мм за 12 часов	Уменьшение видимости, зимой обледенение судов и платформ, высокие паводки на побережье, затопление населенных пунктов
Температура воды	Повышение или снижение на 3-5°	Нарушение рекреационного режима
Осолонение устьевых водоемов	Повышение солености на 5-7 ‰ в течение 15-20 суток	Гибель живых организмов и растительности
Галоклин в устьях рек	Распространение к водозаборах воды с соленостью более 3 ‰	Прекращение водоснабжения населенных пунктов и орошения полей
Развитие эвтрофирования, формирование дефицита кислорода в придонном слое моря и массовая гибель бентоса	Сокращение концентраций растворенного кислорода в придонном до 2 мл·л <sup>-1</sup> и менее	Гибель бентосных сообществ

Выполненные нами ранее исследования [4, 5] показали, что опасные подъемы и спады уровня имеют наибольшую повторяемость с октября по май, что обусловлено наибольшей повторяемостью сильного ветра в этот период года. На станции Черноморск суммарно за год вероятность опасных подъемов и спадов примерно одинакова и составляет 4–4,5 %. На станции Южный опасные подъемы и спады также примерно равновероятны – 3,7–2,9 %. Для станции Одесса суммарно за год повторяемость опасных спадов выше, чем опасных подъемов уровня. При сравнении двух климатических периодов следует, что суммарно за год за период 1980–2012 гг. повторяемость опасных подъемов выросла приблизительно в два раза (с 1,9 % до 3,7 %), а повторяемость опасных спадов уровня, наоборот, снизилась примерно в три раза (с 17,1 % до 6,0 %) по сравнению с периодом 1947–1979 гг. Пояснить это можно климатическими изменениями характеристик ветра. На станции Одесса в многолетней изменчивости средней годовой скорости ветра наблюдается отрицательный тренд, то есть сила ветра за последний климатический период снизилась и снижение произошло за счет уменьшения повторяемости умеренных и сильных ветров, то

есть ветров, обуславливающих опасные подъемы и спады уровня. Произошли изменения и в направлениях ветра. Опасные подъемы уровня моря в Одессе обусловлены действиями ветра восточного и юго-восточного направлений: ветер восточного направления имеет не значимый отрицательный тренд, а ветер юго-восточного направления – значимый положительный тренд – его повторяемость возросла на 5,1 %, что, по-видимому, является причиной роста повторяемости опасных подъемов уровня. Росту повторяемости опасных подъемов уровня способствует также общее повышение уровня моря. Опасные спады уровня моря обусловлены действиями ветров северного, северо-западного и северо-восточного направлений. В многолетней изменчивости повторяемости северного и северо-восточного ветров наблюдаются значимые отрицательные тренды – их повторяемости снизились на 5,6 % и 4,6 % соответственно, а в повторяемости северо-западного ветра – не значимый положительный тренд, что поясняет причины снижения повторяемости опасных спадов уровня моря в Одессе за период 1980–2012 гг.

В связи с общим повышением уровня Черного моря следует ожидать в дальнейшем усиление негативного воздействия опасных нагонов на инфраструктуру и деятельность портов северо-западной части моря.

*Экстремальное волнение и ветер.* Над северо-западной частью моря повторяемость ветра со скоростью более  $15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  не превышает 1 %, а максимальные значения скорости ветра составляет около  $27 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ .

Исследования последних лет показали, что в северо-западной части Черного моря повторяемость значительных волн (4–6 м) является крайне низкой и составляет 0,02 %, а высоты волн 5,5 м возможны раз в 50 лет [6, 7].

Анализ материалов наблюдений на взморье портов северо-западной части моря показал, что за период 1987–2016 гг. наблюдалось по одному случаю опасных волн на станциях Одесса и Черноморск, которые достигали значений 3,5 м и 3,4 м соответственно. На станции Южный за этот же период максимальные значения высот волн не превышали 3 м. В межгодовой изменчивости максимальных высот волн на станциях Одесса и Южный наблюдаются положительные тренды, в то время как на станции Черноморск – слабый отрицательный тренд.

*Тягуны.* При тягунах в акватории порта возникают колебания уровня с периодами от 30 с до нескольких минут, в результате чего стоящие у причалов суда совершают возвратно-поступательные движения, подвергаясь при этом сильной качке. Катастрофического характера такие движения достигают при совпадении периодов собственных колебаний судна с периодом колебаний массы воды в порту. Вследствие этого погрузо-разгрузочные работы становятся невозможны и суда выводятся на внешний рейд. Экономические потери возникают как за счет повреждения судов и причалов так и за счет простоя судов. По мнению ряда авторов причиной тягуна являются длинные волны, проникающие сквозь ворота порта в акваторию и усиливающие сейшевое колебания

массы воды в порту. Такие волны возникают при определенных условиях в результате нелинейного взаимодействия двух систем волн в области шторма на некотором удалении от порта.

Тягун наблюдается во многих портах мира и Черного моря. В северо-западной части Черного моря явление тягуна наблюдается в порту Черноморск. В работе [8] описаны метеоусловия, предшествующие возникновению тягуна в порту Черноморск. Показано, что в большинстве случаев этому явлению предшествует выход средиземноморских циклонов и локальный циклогенез в юго-западной части Черного моря. Возникновение тягуна в порту происходит после действия над морем восточного шторма скоростью  $10\text{--}15\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  продолжительностью 20 ч.

Выполненные нами исследования, показали, что за период 1982–2006 гг. в порту Черноморск наблюдалось 85 случаев возникновения тягуна. Повторяемость явления по годам неодинакова. В отдельные годы не фиксировалось ни одного случая, в то время как в 1993 г. наблюдалось 23 случая тягуна. Наибольшее число случаев приходится на период с октября по март, а в июле и августе не наблюдалось вовсе. В большинстве случаев возникновение тягуна наблюдается при умеренных и сильных ветрах северного, северо-восточного и восточного направлений. При этом средняя высота волн на взморье порта составляла 1,3 м, а максимальная достигала 3,2 м. Все случаи тягунов были слабыми или умеренными и не достигали критерия опасности.

*Цунами.* Черноморские цунами вызываются сейсмическими источниками в море и на суше. За последние два тысячелетия это явление наблюдалось вдоль побережья Черного моря около двух десятков раз. Для четырех землетрясений XX столетия цунами с высотой до 1 м регистрировались мареографами на Крымских и Кавказских участках побережья. Некоторые цунами более раннего периода по описательной информации имели высоту 3–5 м и были разрушительными [2].

*Ледовые условия.* Лед в северо-западной части Черного моря наблюдается ежегодно в заливах и лиманах – Днепро-Бугский лиман и район порта Николаев. Характерным является также неоднократное появление и исчезновение льда в течение зимы. В открытом море в мягкие, а нередко и суровые зимы припай не возникает вовсе. В мягкие зимы на трассе Николаев – Очаков – Одесса в феврале – чистая вода, в умеренные зимы толщина льда составляет 5–10 см, в суровые зимы – 35–40 см. В суровую зиму из взломанного припая образуются большие труднопроходимые поля, толщина которых за счет торосистости может достигать 1 м [9].

Исследования показали, что за последние 30 лет в Черном море повторяемость мягких зим увеличилась примерно на 15 %, а повторяемость умеренных и суровых зим уменьшилась на 4 % и 19 % соответственно. Произошли изменения и в сроках появления льда, и очищения моря ото льда. В северо-западной части Черного моря ледообразование наблюдается позднее на 2–3 недели, а

очищение ото льда на 1–2 недели раньше по сравнению с прошедшими годами. Уменьшилась также продолжительность ледового периода – приблизительно на месяц [10].

В январе-феврале протяженность плавания в ледовых условиях на трассе Николаев-Одесса составляет в мягкую зиму в среднем 30 миль и менее, в умеренную зиму – 45-60 миль, а в суровую – 75 миль (вся трасса покрыта льдом). В середине марта протяженность плавания в ледовых условиях составляет после мягких зим 0 миль, после умеренных – 5 миль, а после суровых – 75 миль. В апреле трасса свободна ото льда при любом типе зимы. В последнюю очередь лед исчезает в районе Николаева. Анализ 86-летнего ряда ледовых фаз для Николаева показывает, что в середине марта лед здесь наблюдается в 40 % случаев. Однако в последние 30 лет вероятность встречи со льдом в этом районе уменьшилась до 25 %.

*Обледенение судов.* В северо-западной части Черного моря в зимнее время года обледенение опасно для рыболовных судов малого тоннажа [3]. Анализ информации показывает, что обледенение судов в Черном море происходит при трех типах атмосферных процессов: 1) выход южных циклонов в северо-западную часть моря; 2) выход «ныряющих» циклонов со Скандинавии на Украину; 3) усиление антициклона над южными районами Украины. Быстрое обледенение рыболовных судов возникает при температурах воздуха ниже  $-3^{\circ}\text{C}$  и скорости ветра более  $10\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ .

*Галоклин в устьях рек и осолонение устьевых водоемов.* Уровень Черного моря уже больше 100 лет медленно повышается. На примере самой большой реки Центральной Европы – Дуная следует отметить, что на взморье зафиксировано некоторое ускорение в повышении фонового уровня. Однако пока подъем уровня на величине стонов и нагонов на взморье Дуная не сказался. Однако в дальнейшем, если тенденция повышения уровня Черного моря сохранится или усилится, величины нагонных повышений уровня воды на взморье и дальность распространения нагонов в глубь дельты Дуная увеличатся.

Динамическое взаимодействие вод реки и моря приводит к образованию устьевой зоны смешения морских и речных вод. Большая часть этой зоны обычно находится на устьевом взморье. Здесь создается область опреснения, площадь которой зависит от объема речного стока, направления ветра и глубин. Однако, при уменьшении речного стока, нагонах и приливах зона смешения речных и морских вод может распространяться и на устьевой участок реки, создавая опасное явление – проникновение осолоненных вод в реки. Это явление неблагоприятно для использования водных ресурсов низовьев рек и экологически очень опасно. Проникновение морских вод способствует заилению судоходных каналов, создает перебои в работе водозаборов для снабжения городов и промышленных объектов. Соленые воды, попадая в реки, становятся губительными для пресноводных организмов, осолоняют подземные воды, почвы и т.д.

Поскольку перемешивание, а следовательно, и вертикальная стратификация вод – следствие динамических процессов в устьях рек могут быть оценены такими параметрами как эстуарное  $Ri_E$  и послойное  $Ri_L$  числа Ричардсона, учитывающими влияние речных и морских факторов на характер устьевых процессов, а также параметром стратификации  $n$ :

$$n = \Delta S / S_{cp}, \quad (1)$$

где  $\Delta S = S_o - S_n$ ;  $S_{cp} = 0,5 (S_o + S_n)$ , при этом  $S_n(\text{‰})$ ,  $S_o(\text{‰})$  – соленость воды на поверхности и у дна соответственно [11].

При обобщении данных было установлено, что регулярное появления «клина» осолоненных вод в неприливном устье Дуная происходило в период межени при устойчивом ветре со стороны моря. Так, например, максимальная дальность «клина»  $L_s = 16,8$  км в рукав Прорву (Дунай) наблюдалось 20 сентября 1991 г. при расходе воды  $256 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$  и продолжавшемся в течение трех суток ветре северо-восточного направления со скоростью  $7\text{--}10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  и порывами до  $18 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  [12].

Исключительно дальнейшее проникновение соленой воды в устье Южного Буга наблюдалось 4 сентября 1986 г. Анализ распределения солёности в Днепро-Бугском лимане (выполнен Морским отделением УкрНИГМИ в Севастополе) показал, что вода с солёностью  $8 \text{ ‰}$ , а это в  $2,7$  раза больше порогового значения  $3 \text{ ‰}$ , достигла г. Николаева. Солёность воды в поверхностном слое колебалась в пределах  $0,65\text{--}6,62 \text{ ‰}$ . Наиболее солёная вода располагалась в центральной части лимана. В придонной области галоклин распространился в устьевой участок реки на  $7,6$  км. В целом, солёная вода поднялась по Южному Бугу на  $23$  км и это вызвало прекращение водоснабжения населенных пунктов и орошения сельскохозяйственных угодий.

Второй случай (7–9 сентября 1994 г.) – типичен для региона. В этот период проявилось влияние на распределение солёности в Днепро-Бугской устьевой области пониженного стока Днестра. При слабых ветрах ( $2\text{--}7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ ) переменных направлений (С, Ю, ЮВ) попуски Каховской ГЭС колебались от  $508$  до  $561 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ , что ниже среднемноголетнего за сентябрь в  $1,4$  раза. Солёность в устьевой области в поверхностном слое изменялась в пределах  $0,31\text{--}1,1 \text{ ‰}$ . В это же время у дна солёность резко возрастает, достигая  $8,33 \text{ ‰}$  на мористом участке дельты Днестра. В придонном слое вода с солёностью более  $1 \text{ ‰}$  распространилась в устье Днестра на  $18$  км. В целом в придонном слое галоклин проник вверх по реке на  $27,7$  км [2].

*Эвтрофирование и гипоксия.* К основному негативному антропогенному влиянию на черноморскую экосистему шельфа относится эвтрофирование морских вод. В результате, на обширных участках моря отмечался массовое развитие первичной продукции фитопланктона, а в дальнейшем и зоопланктона. В отдельные годы область «цветения» моря занимала до  $2/3$  акватории

шельфа. В летне-осенний период, в процессе минерализации органического вещества, поступившего в море и осевшего в придонные слои, расходуется значительное количество растворенного кислорода, обусловленное минерализацией органического вещества в придонном слое, что приводит к массовой гибели бентосных сообществ [13, 14]. Максимального развития этот процесс достиг к 80–90-м годам прошлого столетия. Поступление избытка биогенных веществ со стоком рек, в результате внесения удобрений в системе агрокомплексов, обеспечивало резкую вспышку развития фито-, а затем и зоопланктона в море. Значительный период времени в начале XXI наблюдения за процессами эвтрофирования и формирования придонной гипоксии не проводились, а в настоящее время, из-за спада сельскохозяйственного производства, поступление биогенных веществ сократилось и предполагалось, что условия обитания морских организмов в морской среде будут восстановлены. Однако, как показали современные фактические (in situ) и не контактные спутниковые наблюдения (в частности, за 2017 г.) эвтрофирование значительной части северо-западной шельфа и дефицит кислорода – придонная гипоксия отмечалась на различных участках акватории. Вероятным источником поступления биогенных веществ могут быть как локальные источники, так и многолетние запасы биогенных веществ, депонированные в донные осадки. Следовательно, совершенно необходимо возобновление регулярных комплексных наблюдений за состоянием морской экосистемы для получения оценки пространственно-временных масштабов явления.

### **ВЫВОДЫ**

1. Вследствие значительных климатических изменений повторяемость экстремальных погодных явлений в северо-западной части Черного моря будет возрастать.
2. Если тенденция повышения уровня Черного моря сохранится или усилится, величины нагонных повышений уровня воды на взморье и дальность распространения нагонов, в частности в глубь дельты Дуная увеличатся, что негативно отразится на экологических условиях пресноводной экосистемы.
3. Требуется возобновление регулярных комплексных наблюдений за состоянием морской экосистемы под влиянием продолжающегося антропогенного воздействия.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаков А. Л. Морские опасные и особо опасные гидрометеорологические явления в Азово-Черноморском бассейне. 1. Каталог [Текст] / А. Л. Казаков, Е. А. Собченко // Метеорология, климатология и гидрология. – 1999. – Вып. 39. – С. 116–131.
2. Доценко С. Ф. Природные катастрофы азово-черноморского региона [Текст] / С. Ф. Доценко, В. А. Иванов // НАН України, Морський гідрофізичний інститут. – Севастополь, 2010. – С. 174.
3. Гаврилюк Р. В. Прогнози небезпечних морських гідрологічних явищ [Текст]: Навч. посібник / Р. В. Гаврилюк. – Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2002. – 43 с.
4. Гаврилюк Р. В. Изменчивость уровня в северо-западной части Черного моря [Текст] / Р. В. Гаврилюк, С. В. Корнилов // Вісник ОДЕКУ. – 2016. – Вып.20. – С. 69–76.
5. Гаврилюк Р. В. Сгонно-нагонные колебания уровня в акваториях портов северо-западной части Черного моря и их изменения в современный климатический период [Текст] / Р. В. Гаврилюк, С. В. Корнилов // Судовождение. Сб. науч. Трудов. – Одесса: Одесская национальная морская академия, 2015. – №25. – С. 7–46.
6. Полонский А. Б. Новые данные об изменчивости ветра в северо-западной части Черного моря [Текст] / А. Б. Полонский, А. В. Гармашов // Доклады Национальной Академии наук Украины, 2010. – №2. – С. 119–124.
7. Полонский А. Б. Характеристики ветрового волнения Черного моря [Текст] / А. Б. Полонский, В. В. Фомин, А. В. Гармашов // Доклады Национальной Академии наук Украины, 2011. – №8. – С.108–112.
8. Балинец Н. А. Регионально-генетические принципы тягуна [Текст] / Н. А. Балинец // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа, Севастополь : ЭКОСИ. - Гидрофизика, 2005. – Вып. 13. – С. 179–187.
9. Думанская И. О. Типовые ледовые условия на судоходных трассах морей европейской части России для зим различной суровости [Текст] / И. О. Думанская // Труды Гидрометцентра России, 2014. – Вып. 350. – С. 120–138.
10. Гаврилюк Р. В. Ледовые явления в Черном и Азовском морях их прогноз. [Текст] / Р. В. Гаврилюк // Тези доповідей, УІ Всеукраїнська наукова конференція «Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології», присвячена 100-річчю від дня заснування Національної академії наук України, м. Київ, 13-14 листопада 2018 р. – С. 170–171.
11. Михайлов В. Н. Основы гидрологии устьев рек [Текст] / В. Н. Михайлов, М. В. Михайлова, Д. В. Магрицкий // Москва: ООО "Издательство Триумф", 2018. – 316 с.
12. Гидрология дельты Дуная [Текст] / [Под. ред. В. Н. Михайлова]. – М.: ГЕОС, 2004. – 448 с.
13. Берлинский Н. А. Формирование придонной гипоксии и сероводорода на шельфе Черного моря [Текст] / Н. А. Берлинский, Ю. И. Попов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «ЕКОЛОГІЯ», 2018. – Вып. 18. – С. 6–13.
14. Берлинский Н. А. Динамика техногенного воздействия на природные комплексы устьевой области Дуная : [Текст] / Н. А. Берлинский. – Одесса : Астропринт, 2012. – 252 с.

## REFERENCES

1. Kazakov, A. L., Sobchenko, Ye. A. (1999), Morskije opasnye i osobo opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya v Azovo-Chernomorskom bassejne. 1. Katalog [*Marine and especially dangerous hydrometeorological phenomena in the Azov-Black Sea basin. 1. Catalog*], Meteorologiya, klimatologiya i gidrologiya, issue 39, pp. 116–131.
2. Dotsenko, S. F., Ivanov, V. A. (2010), Prirodnye katastrofy azovo- chernomorskogo regiona [*Natural disasters of the Azov-Black Sea region*], NAN Ukrayiny`, Mors`ky`j gidrofizy`chny`j insty`tut, Sevastopol, 174 p.
3. Gavrilyuk, R. V. (2002), Prognozy` nebezpechny`x mors`ky`x gidrologichny`x yavy`shh. Navh. posibnyk [*Predictions of hazardous marine hydrological phenomena. Educ. manual*], Odessa: Odes`ky`j Derzhavny`j Ekologichny`j Universy`tet, 43 p.
4. Gavrilyuk R.V., Kornilov S.V. (2016), Izmenchivost urovnya v severo-zapadnoy chasti Chernogo

- morya [*Level variability in the northwest Black Sea*], Visnyk ODEKU, vyp. 20, pp. 69-76.
5. Gavrilyuk, R. V., Kornilov, S. V. (2015), Sgonno-nagonnye kolebaniya urovnya v akvatoriyakh portov severo-zapadnoy chasti Chernogo morya i ikh izmeneniya v sovremennyy klimaticheskiy period [*Leveling-up fluctuations of the level in the water areas of the ports of the northwestern Black Sea and their changes in the modern climate period*], Sudovozhdenie. Sb. nauch. trudov, Odessa: Odesskaya natsionalnaya morskaya akademiya, No. 25, pp. 7-46.
  6. Polonskiy, A. B., Garmashov, A. V. (2010), Novye dannye ob izmenchivosti vetra v severo-zapadnoy chasti Chernogo morya [*New data on wind variability in the northwestern Black Sea*], Doklady Natsionalnoy Akademii nauk Ukrainy, No 2, pp. 119-124.
  7. Polonskiy, A. B., Fomin, A. V. (2011), Kharakteristiki vetrovogo volneniya Chernogo morya [*Characteristics of wind waves of the Black Sea*], Doklady Natsionalnoy Akademii nauk Ukrainy, No 8, pp. 108-112.
  8. Balinez, N. A. 2005, Regionalno-geneticheskie printsipy tyaguna [*Regional genetic principles of the draft*], Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfovoy zon i kompleksnoe ispolzovanie resursov shelfa. Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, vyp. 13, pp. 179-187.
  9. Dumanskaya, I. O. (2014), Tipovye ledovye usloviya na sudokhodnykh trassakh morey evropeyskoy chasti Rossii dlya zim razlichnoy surovosti [*Typical ice conditions on the shipping lanes of the seas of the European part of Russia for winters of varying severity*], Trudy Gidromettsentra Rossii, vyp. 350, pp. 120-138.
  10. Gavrilyuk, R. V. (2018), Ledovye yavleniya v Chernom i Azovskom moryakh ikh prognoz [*Ice phenomena in the Black and Azov Seas their forecast*], Tezy` dopovidej, UII Vseukrayins`ka naukova konferenciya «Problemy` gidrologiyi, gidroximiyi, gidroekologiyi», pry`svyachena 100-richchyu vid dnya zasnovannya Nacional`noyi akademiyi nauk Ukrayiny`, m. Ky`yiv, 13-14 ly`stopada 2018 r. – pp. 170-171.
  11. Mikhaylov, V. N., Mikhaylova, M. V., Magritskiy, D. V. (2018), Osnovy gidrologii ustev rek [*Basics of river mouth hydrology*], OOO "Izdatelstvo Triumf" Moskva, 316 p.
  12. Gidrologiya delty Dunaya (Pod. red. V. N. Mikhaylova), (2004), [*Hydrology of the Danube Delta (Under: ed. V.N. Mikhailova)*], M.: GYeOS, 448 p.
  13. Berlinskiy, N. A., Popov, Yu. I. (2018), Formirovanie pridonnoy gipoksii i serovodoroda na shelfe Chernogo morya [*The formation of bottom hypoxia and hydrogen sulfide on the shelf of the Black Sea*], Visnyk kharkivskogo natsionalnogo universitetu imeni V. N. Karazina, seriya «ekologiya», vyp. 18, pp. 6 – 13.
  14. Berlinskiy, N. A. (2012), Dinamika tehnogenogo vozdeystviya na prirodnye kompleksy ustevoy oblasti Dunaya [*Dynamics of anthropogenic impact on natural systems mouth area of the Danube: monograph*], Odessa: Astroprint, 252 p.

Надійшла 21.10.2019

**Р. В. Гаврилюк**, канд. геогр. наук, доцент  
**М. А. Берлінський**, докт. геогр. наук, професор  
Одеський державний екологічний університет,  
кафедра океанології та морського природокористування,  
вул. Львівська 15, Одеса, 65016 Україна  
nberlinsky@ukr.net, raiisagavr@gmail.com

## **НЕБЕЗПЕЧНІ МОРСЬКІ ГІДРОЛОГІЧНІ ЯВИЩА В ПІВНІЧНО-ЗАХІДНІЙ ЧАСТИНІ ЧОРНОГО МОРЯ**

### **Резюме**

Північно-західна частина Чорного моря періодично знаходиться під впливом небезпечних погодних умов, що негативно впливає на море господарську діяльність і завдає матеріальних збитків. Метою дослідження є аналіз найбільш значущих для регіону небезпечних морських гідрологічних явищ і виявлення тенденцій їх змін під впливом кліматичних та антропогенних факторів. Для виконання роботи використовувались доступні данні спостережень за вітро-хвильовими параметрами, рівнем моря, явищем тягуна, морськими течіями, льодовими процесами, осолоненням гирлових областей та процесами евтрофікування прибережної зони моря. Дослідження виконано на основі аналізу літературних джерел, а також використання методів математичної статистики при обробки матеріалів спостережень.

У зв'язку з загальним підвищенням рівня Чорного моря слід очікувати в подальшому підсилення негативного впливу небезпечних нагонів на інфраструктуру і діяльність портів північно-західної частини моря.

Встановлено, що виникнення тягуна в порту Чорноморськ відбувається після дії над морем східного шторму з швидкостями вітру  $10\text{--}15\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  і тривалістю 20 годин. В більшості випадків цьому явищу передують вихід циклонів з Середземного моря і локальний циклогенез в південно-західній частині Чорного моря.

За останні 30 років в Чорному морі повторюваність м'яких зим збільшилась приблизно на 15 %, а повторюваність помірних і суворих зим зменшилась на 4 % і 19 % відповідно. Відбулись зміни і в строках появи льоду і очищення від льоду. В північно-західній частині Чорного моря льодоутворення спостерігається пізніше на 2–3 тижня, а очищення від льоду – на 1–2 тижня раніше в порівнянні з попередніми роками. Також приблизно на місяць зменшилась тривалість льодового періоду.

Рівень Чорного моря вже більше як 100 років повільно зростає, і в подальшому, якщо така тенденція збережеться або підсилиться, величина зростання рівня на узбережжі і дальність розповсюдження нагонів в глиб гирла Дунаю підвищиться. Встановлено, що регулярні появи клину осолоненні води в гирлі Дунаю відбувалось в період межені при стійких вітрах з боку моря.

За даними сучасних супутникових і прямих спостережень встановлено факт антропогенного евтрофікування і дефіциту кисню – придонній гіпоксії на різних ділянках шельфу, що за масштабами можна порівняти з аналогічними процесами, які відбувались в 80–90 роках минулого століття. Імовірним джерелом над-

ходження біогенних речовин можуть бути як локальні, так і багаторічні запаси, депоновані в донні відкладення.

**Ключові слова:** північно-західна частина Чорного моря, рівень моря, льодові умови, осолонення в гирлах річок, евтрофікування.

**R. V. Gavrilyuk**

**N. A. Berlinsky**

Odessa State Environmental University,  
Department of Oceanology and Marine Nature Management,  
15, Lvivska St. 65016, Ukraine  
nberlinsky@ukr.net, raiisagavr@gmail.com

## **HAZARDOUS MARINE HYDROLOGICAL PHENOMENA IN THE NORTHWESTERN PART OF THE BLACK SEA**

### **Abstract**

**Problem Statement and Purpose.** The important object of investigation is the Northwestern part of the Black sea. The Northwestern part of the Black sea located in Ukraine with a big population on the coast under the influence of climate change that reflected on economic potential of the region. The examples of natural phenomena with negative influence to the social – economic situation of the region and safety of population were considered as well. Purpose is the scientific review about the general specification and development tendencies of the hazardous marine hydrological phenomena in the Northwestern part of the Black sea.

**Data & Methods.** The sea level dynamic, the intensity of abnormal weather condition, ice regime formation, salinization in the river mouth areas, etc. were considered. In the processing of information and data set methods of mathematical statistics were used.

**Results.** Because of the general increasing of the Black Sea level, one should expect a further increasing of the negative impact of hazardous surges to the infrastructure and ports activities in the Northwestern part of the sea.

The appearance of a draft in the port's area occurs after an eastern direction storm with a speed of 10–15 m · s<sup>-1</sup> and duration of 20 hours was established. In most cases, this phenomenon is preceded by the emergence of Mediterranean cyclones and local cyclogenesis in the Southwestern part of the Black Sea.

Over the past 30 years, the frequency of mild winters in the Black Sea has increased by about 15 %, and the frequency of mild and severe winters has decreased by 4 % and 19 %, respectively. There were changes in the time of the appearance of ice, and cleansing the sea from ice regime.

In the northwestern part of the Black Sea, ice formation is observed later by 2–3 weeks, and ice cleansing is 1–2 weeks earlier than in the past years. The duration of the ice regime period also decreased - by about a month. During the last 100 years, the Black sea level has been slowly rising and in the future, if the tendency of increasing

continues or intensifies, the magnitude of the surges of water level in the coastal zone and the distribution range of the surges deep into the Danube Delta will be increased. As a result of data analyses the regular appearance of a “wedge” of salty water in the non-tidal mouth of the Danube occurred during the low-water period with a steady wind from the sea side was found.

According modern satellite data the human press impact as a large scale eutrophication phenomenon in the Northwestern marine area and near bottom hypoxia as well had been marked.

**Keywords:** northwestern part of the Black Sea, sea level, ice regime, salinization in river mouths, eutrophication phenomenon.