

Исследование краткосрочных повышений уровня моря в прибрежной зоне в районе Южного берега Крыма с использованием данных контактных и спутниковых наблюдений

Ю. В. Симонова, С. В. Станичный, Е. М. Лемешко

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, 299011, Россия
E-mails: julia.simonova.0502@gmail.com, sstanichny@mail.ru, evgeny.lem@gmail.com*

В работе рассматриваются случаи резких кратковременных повышений уровня Чёрного моря в районе Южного берега Крыма, вызванные ветровыми нагонами, на примере 2014–2016 гг. Показано, что практически все случаи аномальных повышений уровня моря в прибрежной зоне за исследуемый период стали результатом воздействия нагонов при ветрах восточного направления. На основе альтиметрических данных и данных о скорости ветра реанализа MERRA предложена параметризация для расчёта изменения прибрежного уровня на интервалах до 10 дней. Предложенная параметризация, квадратично зависящая от скорости ветра, достаточно хорошо описывает высокочастотные колебания уровня моря и может быть использована в прогностических целях. Отмечено меньшее влияние ветра на уровень моря в период формирования и существования сезонного термоклина до начала зимней конвекции, обусловленное, по-видимому, действием напряжения трения в менее глубоком слое. Изменение уровня при сгонных ветрах незначительно.

Ключевые слова: Чёрное море, штормовой нагон, уровень моря, альтиметрические измерения, контактные данные, прогноз, ветровое воздействие, прибрежная зона, Южный берег Крыма

Одобрена к печати: 30.06.2020
DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-238-245

Введение

Изменения уровня моря — важный параметр, определяющий процессы в зоне сопряжения суша/море. Основным фактором, влияющим на изменение уровня Чёрного моря в сезонном ходе, становится водный баланс, определяемый материковым стоком, осадками, испарением с поверхности моря и водообменом через проливы. Эти процессы хорошо изучены и описаны в большом количестве работ (см., например, публикации (Горячкин, Иванов, 1995, 1996, 2000, 2006; Коротаев, Еремеев, 2006; Фомичева, 1986)). Важными факторами колебания прибрежного уровня моря представляются стерический эффект (за счёт сезонного изменения температуры поверхностного слоя моря) и определяемые завихренностью ветра процессы обмена между прибрежными зонами и центральной частью моря (Алескерова и др., 2015; Горячкин, Иванов, 1999; Горячкин и др., 2001; Кубряков, Станичный, 2009).

В то же время на интервалах от единиц часов до 10 дней существенный вклад могут вносить сгонно-нагонные явления и волновые колебания, определяемые в первую очередь атмосферными воздействиями: изменением давления и скорости ветра (Блатов, Иванов, 1992; Зацепин и др., 2010; Куклин и др., 2013).

Регулярные спутниковые альтиметрические данные об изменении уровня моря при сопоставлении с приводной скоростью ветра позволили решить ряд проблем при изучении динамики моря и выделить атмосферные факторы, определяющие изменение уровня в открытых частях Чёрного моря (Пустовойтенко и др., 2008; Mizuuk, Korotaev, 2019). Высокочастотная изменчивость прибрежного уровня воспроизводится на основе спутниковых данных достаточно плохо в силу технических особенностей альтиметров (пространственное разрешение и частота получения информации) (Кубряков, Станичный, 2013). Проблемы восстановления уровня моря в прибрежных районах описаны в публикациях (Coastal..., 2011; Kubryakov, Stanichny, 2011). Целью настоящей работы является оценка возможности воспроизведения высокочастотных (на периодах в несколько дней) изменений прибрежного уровня на основе

комбинирования спутниковой информации и данных о скорости ветра из модельных реанализов для района Южного берега Крыма.

Используемые данные

Для исследования были использованы ежедневные данные контактных наблюдений за уровнем моря (записи мареографа) гидрометеорологического поста Черноморского гидрофизического подспутникового полигона (ЧГПП) Морского гидрофизического института Российской академии наук (МГИ РАН) (пос. Качивели). ЧГПП расположен на м. Кикинеиз. Данные по спутниковой альтиметрии извлечены из архива MSLA AVISO (MSLA — *англ.* Mapped Sea Level Anomaly, карты аномалий уровня моря; AVISO — *англ.* Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic Data, Архив альтиметрической информации) для ближайшей от берега точки спутниковых данных (точка 44°18' с. ш., 33°56' в. д., расположенная в 16 км к югу-юго-западу от берега). Карты геострофических течений на основе данных MSLA AVISO взяты из архива отдела дистанционных методов исследования МГИ РАН (Морской портал, <http://dvs.net.ru/mp>). Ежечасные данные о скорости ветра из метеорологического реанализа MERRA (Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications) были загружены через систему Giovanni для зональной и меридиональной компонент (M2T1NXFLX_5_12_4_VLML и M2T1NXFLX_5_12_4_ULML). Данные по температуре морской поверхности были загружены через систему LAS PODAAC. Использованы ежедневные данные продукта OSTIA-UKMO-L4-GLOB-v2.0 в точке 34° в. д., 44,4° с. ш.

Анализ данных

На *рис. 1* (см. с. 240) представлен осреднённый за 20 лет годовой ход уровня моря по данным берегового поста в Качивели. В целом для Чёрного моря в годовом ходе максимальные значения уровня моря отмечаются в мае – июне, а минимальные — в октябре – ноябре (Иванов, Блатов, 1992). На контактных измерениях в Качивели выделяется ещё максимум в январе – феврале, связанный, по-видимому, с интенсификацией Основного черноморского течения и скорости ветра (Кубряков, Станичный, 2013; Симонова и др., 2012). Амплитуда осреднённого годового хода составляет 0,13–0,15 м и является суммарным эффектом изменения водного баланса, стерического эффекта и ветрового воздействия. Как видно из графика на *рис. 1*, даже в осреднённых данных хорошо проявляются высокочастотные (на периодах 5–7 дней) колебания, связанные с ветровым воздействием, амплитуда которых может достигать 0,05–0,07 м. Отметим сезонную изменчивость наблюдаемой амплитуды таких колебаний. Возможной причиной сезонной изменчивости могут быть два фактора: сезонная изменчивость скорости ветра и изменчивость верхнего квазиоднородного слоя (ВКС), на который распространяется ветровое воздействие.

На *рис. 1* синей линией обозначена локальная дисперсия изменчивости уровня на интервале 15 дней, а зелёная линия — это изменение температуры поверхности в годовом цикле относительно 8 °С. Минимальные значения дисперсии уровня наблюдаются на периоде 110–260 дней (середина апреля – середина сентября), что соответствует интервалу существования сезонного ВКС. Далее будет показано, что именно этот фактор определяет высокочастотную изменчивость прибрежного уровня вместе со скоростью ветра.

Межгодовая изменчивость уровня достаточно существенная, и годовой ход уровня может отличаться от представленного на *рис. 1* среднего значения. Для изучения изменчивости уровня моря были выбраны 2014, 2015 и 2016 гг., отличающиеся по среднегодовому ходу уровня и количеству нагонов при ветрах восточного направления. Критерием выделения нагона принимались случаи резкого повышения уровня моря на 15 см и выше в течение нескольких суток (Горячкин, 2007). Всего за рассматриваемый период выделено 47 случаев резкого подъёма уровня на 15 см и более на уровне суток. Из них выделяется 10 случаев экстремального подъёма уровня на 40 см и более в течение суток (*таблица*).

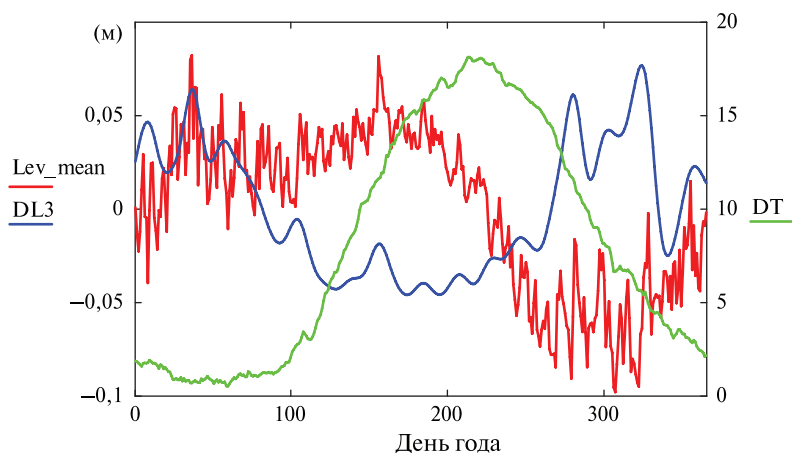


Рис. 1. Годовой ход среднемноголетнего уровня моря (м) в районе Южного берега Крыма (1998–2017) по данным берегового поста ЧППП МГИ (пос. Кацивели) (красная линия); изменчивость температуры (относительно 8 °С) (зелёная линия); скользящая дисперсия (м²) изменения уровня на интервале 15 дней (умножена на 3 для лучшего представления) (синяя линия)

Количество нагонов в районе Кацивели

Год	Нагон, см		
	≥15	≥25	≥40
2014	18	8	4
2015	11	10	3
2016	18	11	3
Всего	47	29	10

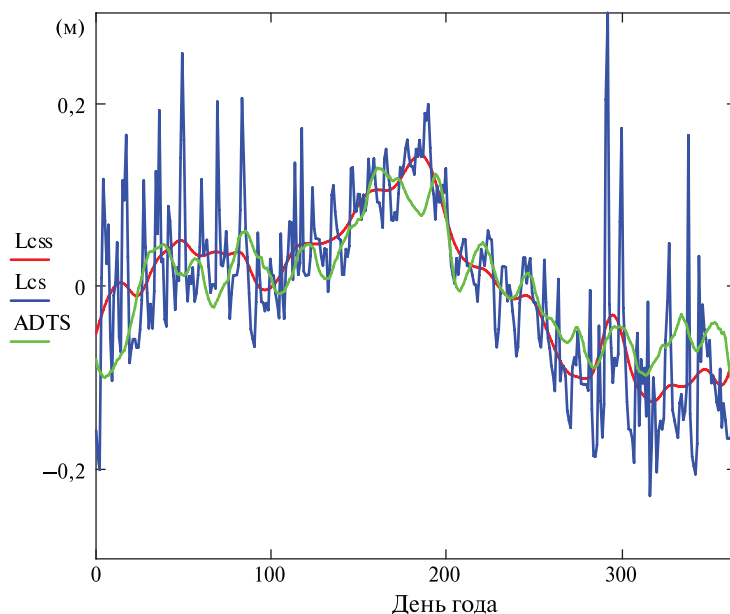


Рис. 2. Годовой ход изменения уровня (м) за 2016 г. по контактными данными (*Lcs*) — синяя линия; осреднённый с окном 15 сут (*Lcss*) (красная линия); альтиметрические данные в ближайшей точке (*ADTS*) (зелёная линия)

В качестве примера на рис. 2 представлен осреднённый по интервалу 15 дней годовой ход уровня по контактными данными в сопоставлении со спутниковыми наблюдениями за 2016 г.

Как видно, в этот год средняя сезонная амплитуда изменчивости уровня превышала 0,2 м. Осреднённые спутниковые данные хорошо согласуются с контактными на сезонном ходе и имеют отличия в высокочастотной области.

Сопоставление спутниковых данных с ежедневными контактными измерениями показывает высокую временную изменчивость и величины нагонов до 0,5 м. При комплексном анализе спутниковых и контактных данных по уровню и скорости ветра ставилась задача попытки описания высокочастотных колебаний уровня флуктуациями скорости ветра. Затем была построена регрессионная зависимость для измеряемого контактного уровня как функции альтиметрических данных и данных о скорости ветра реанализа MERRA.

На следующем этапе было проведено сопоставление высокочастотных флуктуаций уровня с зональной компонентой скорости ветра по данным реанализа MERRA. Высокочастотные флуктуации уровня (*Dif*) рассчитывались как разность осреднённых скользящим окном в 2 сут данных и осреднённых по интервалу 30 сут. На *рис. 3* показан годовой ход *Dif* и изменение зональной компоненты скорости ветра, также осреднённой скользящим двухдневным окном для 2014 г. Из представленных зависимостей хорошо видно, что все повышения уровня больше 0,1 м определяются изменением компоненты скорости ветра. Отметим, что в период формирования и существования сезонного термоклина влияние ветра на изменение уровня слабее. Это может быть объяснено распределением напряжения трения ветра в менее глубоком слое и, соответственно, меньшим объёмом водных масс, смещаемых к берегу и вызывающих изменение уровня, измеряемого на береговой станции.

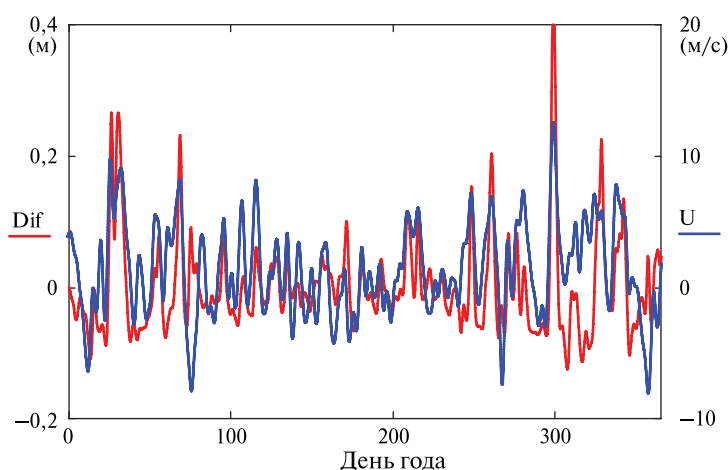


Рис. 3. Флуктуации уровня моря по контактными наблюдениям (*Dif*, м) — красная линия; изменение зональной компоненты скорости (*U*, м/с) — синяя линия

Сопоставления уровня и флуктуаций скорости ветра для других лет показали аналогичные результаты. Дальнейшей целью исследований была оценка возможности построения функциональной зависимости для описания прибрежного уровня моря с использованием спутниковых альтиметрических данных и скорости ветра из реанализа MERRA. С этой целью были рассчитаны средние значения изменения уровня моря в диапазоне скорости ветра от -13 до $+13$ м/с для каждого интервала в 1 м/с. На *рис. 4* (см. с. 242) представлена такая зависимость для 2014 г. вместе с аппроксимационной функцией.

Как видно из графика, только восточные ветры вызывают существенное изменение уровня моря (нагоны), в то же время ветры западного направления почти не меняют уровень, что было отмечено раньше (Горячкин, 2007). Зависимость имеет квадратичный характер и хорошо описывается формулой $Dif = 0,003U^2 - 0,04$ для восточной компоненты и $Dif = 0$ для западной.

Полученная зависимость может быть использована для восстановления прибрежного уровня моря на основе спутниковой альтиметрической информации и данных о скорости ветра.

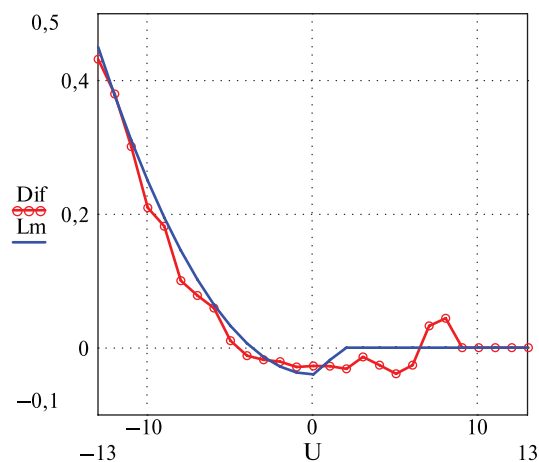


Рис. 4. Среднее значение изменения уровня моря (м) от зональной компоненты скорости ветра (м/с) (красная линия) и аппроксимационная кривая (синяя линия)

В качестве опорного уровня вместо осреднённых контактных измерений могут быть использованы альтиметрические данные. Тогда расчётный уровень можно вычислить по формуле $Lm = ADTS + 0,003U^2 - 0,04$, где ADTS — сглаженный уровень по спутниковым данным. На рис. 5 представлено сопоставление измеренного уровня ($Lcss$) и рассчитанного (Lm). Квадратичная зависимость обуславливается определяющим влиянием напряжения трения ветра (квадратично зависящего от скорости ветра) на дрейфовые течения.

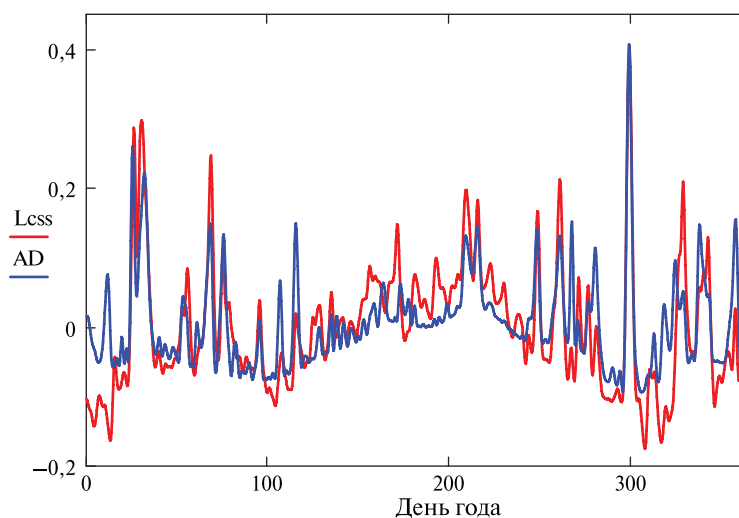


Рис. 5. Сопоставление расчётного (Lm) и измеренного ($Lcss$) уровня моря (м) за 2014 г.

Использование предложенной зависимости для данных за 2015 и 2016 гг. продемонстрировало адекватность представленного подхода. Таким образом, использование альтиметрических измерений совместно с данными о скорости ветра позволяет воспроизводить нагоны в исследуемом районе.

Выводы

В работе на основе анализа спутниковых альтиметрических данных и контактных измерений в ЧГПП в пос. Кацевели (Ялтинский р-н) исследованы изменения уровня моря на периодах 5–10 дней, вызванные в первую очередь ветровыми нагонами. Показана межгодовая и сезонная

изменчивость количества нагонов. В основном такие явления наблюдаются в осенне-зимний период. В тёплое время года нагонные явления отмечаются довольно редко, что объясняется характеристиками скорости ветра и возможным ветровым воздействием на менее глубокий слой, ограниченный ВКС. На основе данных альтиметрии и данных о скорости ветра предложена параметризация для расчёта изменения прибрежного уровня. Предложенная параметризация достаточно хорошо описывает высокочастотные колебания уровня моря и может быть использована в прогностических целях.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0827-2019-0002 при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-45-920065).

Литература

1. *Алескерова А. А., Кубряков А. А., Станичный С. В.* Субмезомасштабные процессы на западном побережье Крыма по измерениям спутников Landsat // 12-я Конф. молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования»: сб. тр. 13–15 апр. 2015, ИКИ РАН, Москва / под ред. А. М. Садовского. М.: ИКИ РАН, 2015. С. 5–16.
2. *Блатов А. С., Иванов В. А.* Гидрология и гидродинамика шельфовой зоны Черного моря (на примере южного берега Крыма). Киев: Наукова думка, 1992. 244 с.
3. *Горячкин Ю. Н.* Основные тенденции многолетней изменчивости сгонно-нагонных колебаний уровня в Черном море // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Вып. 15. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. С. 28–31.
4. *Горячкин Ю. Н., Иванов В. А.* Межгодовая изменчивость уровня в северо-западной части Черного моря // Исслед. шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна. Севастополь: МГИ НАНУ, 1995. С. 18–21.
5. *Горячкин Ю. Н., Иванов В. А.* Современные тенденции изменений уровня Черного моря // Водные ресурсы. 1996. Т. 23. № 2. С. 246–248.
6. *Горячкин Ю. Н., Иванов В. А.* Гидрометеорологический режим южного побережья Черного моря. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 1999. 45 с.
7. *Горячкин Ю. Н., Иванов В. А.* Пространственно-временное распределение экстремальных значений уровня моря в Черном море // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2000. С. 72–79.
8. *Горячкин Ю. Н., Иванов В. А.* Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее / под ред. В. Н. Еремеева. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. 210 с.
9. *Горячкин Ю. Н., Репетин Л. Н., Фомичева Л. А.* Особенности изменчивости уровня моря в прибрежной зоне юго-западной части Крыма // Тр. Украинского научно-исслед. гидрометеоролог. ин-та. Вып. 249. Киев, 2001. С. 236–245.
10. *Зацепин А. Г., Кременецкий В. В., Станичный С. В., Бурдюгов В. М.* Бассейновая циркуляция и мезомасштабная динамика Черного моря под ветровым воздействием // Современные проблемы динамики атмосферы и океана. 2010. С. 347–368.
11. *Иванов В. А., Блатов А. С.* Натурные характеристики колебаний уровня // Гидрология и гидродинамика шельфовой зоны Черного моря (на примере Южного берега Крыма). Киев: Наукова думка, 1992. С. 77–87.
12. *Кортаев Г. К., Еремеев В. Н.* Введение в оперативную океанографию Черного моря. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. 382 с.
13. *Кубряков А. А., Станичный С. В.* Анализ пространственной и временной изменчивости уровня Черного моря на основе альтиметрических и натурных наблюдений. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2009. № 18. С. 122–129.
14. *Кубряков А. А., Станичный С. В.* Тренды уровня Черного моря по контактными и альтиметрическим наблюдениям // Метеорология и гидрология. 2013. № 5. С. 48–55.
15. *Куклин А. К., Куклина Н. Я., Шабалина О. А., Майборода С. А., Метик-Дионова В. В., Симонова Ю. В., Плужников В. Б.* Экстремальные значения высот и периодов морских волн в районе Южного берега Крыма // Системы контроля окружающей среды. 2013. № 19. С. 156–161.
16. *Пустовойтенко В. В., Бородин С. В., Давыдова Е. П., Калинин Е. И., Кортаев Г. К., Соловьев Д. М.* Спутниковый мониторинг акватории Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2008. № 16. С. 9–44.

17. Симонова Ю. В., Метик-Диюнова В. В., Кузнецов А. С., Казаков С. И. Измерения уровня моря в ЭО МГИ НАН Украины // Системы контроля окружающей среды: сб. науч. тр. Севастополь, 2012. № 17. С. 100–104.
18. Фомичева Л. А. Сезонный и годовой ход уровня Черного моря // Тр. Гос. океанограф. ин-та. 1986. № 168. С. 19–26.
19. Coastal Altimetry / eds. Vignudelli S., Kostianoy A. G., Cipollini P., Benveniste J. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. 578 p. DOI: 10.1007/978-3-642-12796-0.
20. Kubryakov A. A., Stanichny S. V. Mean Dynamic Topography of the Black Sea, computed from altimetry, drifter measurements and hydrology data // Ocean Science. 2011. V. 7. No. 6. P. 745–753.
21. Mizyuk A. I., Korotaev G. K. Dynamics of the Black Sea Upper Layer Based on Satellite Data: Gridded Altimetry versus High Resolution IR Images // Physical Oceanography. 2019. No. 3(26). P. 214–224. DOI: 10.22449/1573-160X-2019-3-214-224.

Study of short-term sea level rise in the coastal zone near the Southern Coast of Crimea using contact and satellite observations

Yu. V. Simonova, S. V. Stanichny, E. M. Lemeshko

Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol 299011, Russia
E-mails: julia.simonova.0502@gmail.com, sstanichny@mail.ru, evgeny.lem@gmail.com

The paper considers cases of sharp short-term increases in the Black Sea level in the region of the Southern coast of Crimea caused by wind surges, using the example of 2014–2016. It was shown that almost all cases of abnormal sea level rise in the coastal zone during the study period were the result of exposure to wind surges. Based on altimetry data and data on the wind speed of the MERRA reanalysis, parametrization is proposed for calculating changes in the coastal level at intervals of up to 10 days. The proposed parametrization, which quadratically depends on wind speed, describes the high-frequency fluctuations in sea level quite well and can be used for prognostic purposes. A lesser effect of wind on sea level was noted during the formation and existence of a seasonal thermocline before the beginning of winter convection, apparently due to the action of friction stress in a less deep layer. The change in the level with driving winds is insignificant.

Keywords: Black Sea, storm surge, sea level, altimetry measurements, contact data, forecast, wind impact, coastal zone, Southern coast of Crimea

Accepted: 30.06.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-238-245

References

1. Aleskerova A. A., Kubryakov A. A., Stanichny S. V., Submezomasshtabnye protsessy na zapadnom poberezh'e Kryma po izmereniyam sputnikov Landsat (Sub-mesoscale processes on the western coast of Crimea from Landsat satellite measurements), *Fundamental'nye i prikladnye kosmicheskie issledovaniya* (Basic and applied space research), Proc. 12th Conf. Young Scientists, 13–15 Apr. 2015, IKI RAN, Moscow, A. M. Sadovskii (ed.), Moscow: IKI RAN, 2015, pp. 5–16.
2. Blatov A. S., Ivanov V. A., *Gidrologiya i gidrodinamika shel'fovoi zony Chernogo morya (na primere yuzhnogo berega Kryma)* (Hydrology and hydrodynamics of the shelf zone of the Black Sea (on the example of the southern coast of Crimea)), Kiev: Naukova dumka, 1992, 244 p.
3. Goryachkin Yu. N., Osnovnye tendentsii mnogoletnei izmenchivosti sgonno-nagonnykh kolebanii urovnya v Chernom more (The main tendencies of the long-term variability of the leveling fluctuations in the Black Sea), *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*, Sevastopol, 2007, Vol. 15, pp. 28–31.

4. Goryachkin Yu. N., Ivanov V. A., Mezhhodovaya izmenchivost' urovnya v severo-zapadnoi chasti Chernogo morya (Interannual level variability in the northwestern part of the Black Sea), *Issledovaniya shel'fovoi zony Azovo-Chernomorskogo basseina*, Sevastopol, 1995, pp. 18–21.
5. Goryachkin Yu. N., Ivanov V. A., Sovremennye tendentsii izmenenii urovnya Chernogo morya (Current trends in the Black Sea), *Vodnye resursy*, 1996, Vol. 23, No. 2, pp. 246–248.
6. Goryachkin Yu. N., Ivanov V. A., *Gidrometeorologicheskii rezhim yuzhnogo poberezh'ya Chernogo morya* (Hydrometeorological regime of the southern coast of the Black Sea), Sevastopol, 1999, 45 p.
7. Goryachkin Yu. N., Ivanov V. A., Prostranstvenno-vremennoe raspredelenie ekstremal'nykh znachenii urovnya morya v Chernom more (Spatio-temporal distribution of extreme sea level values in the Black Sea), *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*, Sevastopol, 2000, pp. 72–79.
8. Goryachkin Yu. N., Ivanov V. A., *Uroven' Chernogo morya: proshloe, nastoyashchee i budushchee* (Black Sea Level: Past, Present, and Future), V. N. Eremeev (ed.), Sevastopol, 2006, 210 p.
9. Goryachkin Yu. N., Repetin L. N., Fomicheva L. A., Osobennosti izmenchivosti urovnya morya v pribrezhnoi zone yugo-zapadnoi chasti Kryma (Features of sea level variability in the coastal zone of the southwestern part of Crimea), *Trudy Ukrainского nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo instituta*, Vol. 249, Kiev, 2001, pp. 236–245.
10. Zatsepin A. G., Kremeneskii V. V., Stanichny S. V., Burdyugov V. M., Basseinovaya tsirkulyatsiya i mezomasshtabnaya dinamika Chernogo morya pod vetrovym vozdeistviem (Basin circulation and mesoscale dynamics of the Black Sea under wind exposure), *Sovremennyye problemy dinamiki atmosfery i okeana*, 2010, pp. 347–368.
11. Ivanov V. A., Blatov A. S., Naturnye kharakteristiki kolebanii urovnya (Full-scale characteristics of level fluctuations), *Gidrologiya i gidrodinamika shel'fovoi zony Chernogo morya (na primere Yuzhnogo berega Kryma)*, Kiev: Naukova dumka, 1992, pp. 77–87.
12. Korotaev G. K., Eremeev V. N., *Vvedenie v operativnyuyu okeanografiyu Chernogo morya* (Introduction to Black Sea Operational Oceanography), Sevastopol, 2006, 382 p.
13. Kubryakov A. A., Stanichny S. V., Analiz prostranstvennoi i vremennoi izmenchivosti urovnya Chernogo morya na osnove al'timetricheskikh i naturnykh nablyudenii (Analysis of spatial and temporal variability of the Black Sea level based on altimetry and field observations), *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*, Sevastopol, 2009, No. 18, pp. 122–129.
14. Kubryakov A. A., Stanichny S. V., Trendy urovnya Chernogo morya po kontaktnym i al'timetricheskim nablyudeniyam (Black Sea Trends by contact and altimetry observations), *Meteorologiya i gidrologiya*, 2013, No. 5, pp. 48–55.
15. Kuklin A. K., Kuklina N. Ya., Shabalina O. A., Maiboroda S. A., Metik-Diyunova V. V., Simonova Yu. V., Pluzhnikov V. B., Ekstremal'nye znacheniya vysot i periodov morskikh voln v raione Yuzhnogo berega Kryma (Extreme values of heights and periods of sea waves in the region of the Southern coast of Crimea), *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy*, No. 19, 2013, pp. 156–161.
16. Pustovoitenko V. V., Borodin S. V., Davydova E. P., Kalinin E. I., Korotaev G. K., Solov'ev D. M., Sputnikovyi monitoring akvatorii Chernogo morya (Satellite monitoring of the Black Sea), *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*, Sevastopol', 2008, No. 16, pp. 9–44.
17. Simonova Yu. V., Metik-Diyunova V. V., Kuznetsov A. S., Kazakov S. I., Izmereniya urovnya morya v EO MGI NAN Ukrainy (Sea level measurements in the EE MHI NAS of Ukraine), *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy*, 2012, No. 17, pp. 100–104.
18. Fomicheva L. A., Sezonnii i godovoi hod urovnya Chernogo morya (Seasonal and annual course of the Black Sea level), *Trudy Gosudarstvennogo okeanograficheskogo instituta*, 1986, No. 168, pp. 19–26.
19. *Coastal Altimetry*, Vignudelli S., Kostianoy A. G., Cipollini P., Benveniste J. (eds.), Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2011, 578 p., DOI:10.1007/978-3-642-12796-0.
20. Kubryakov A. A., Stanichny S. V., Mean Dynamic Topography of the Black Sea, computed from altimetry, drifter measurements and hydrology data, *Ocean Science*, 2011, Vol. 7, No. 6, pp. 745–753.
21. Mizyuk A. I., Korotaev G. K., Dynamics of the Black Sea Upper Layer Based on Satellite Data: Gridded Altimetry versus High Resolution IR Images, *Physical Oceanography*, 2019, No. 3(26), pp. 214–224, DOI: 10.22449/1573-160X-2019-3-214-224.