

УДК 911.9

А.В. Холопцев,  
Л.С. Захаренкова

## ***Особенности сезонной изменчивости современных тенденций межгодовых вариаций уровня Северо-Западной части Черного моря***

АНОО ВО «Севастопольская морская академия»,  
г. Севастополь, Российская Федерация  
e-mail: [khoptsev@mail.ru](mailto:khoptsev@mail.ru); [zakharenkova\\_888@list.ru](mailto:zakharenkova_888@list.ru)

**Аннотация.** Сопоставлены тенденции изменения уровня Черного моря за период после 1979 г., которые проявились в различные месяцы, в пунктах, расположенных на побережьях его Северо-Западной части. Выявленные особенности позволяют предполагать, что одной из основных причин имеющих место их различий являются тектонические процессы в регионе.

**Ключевые слова:** уровень моря, климатическая изменчивость, интерполяция, тренд, метод триангуляции Делоне.

### **Введение**

Уровень моря у того или иного участка его побережья существенно влияет на интенсивность происходящих на нем абразионных и аккумулятивных процессов, а также безопасность движения судов на подходах к портам и в фарватерах. Поэтому выявление закономерностей его изменения в различных регионах мира является актуальной проблемой физической географии, геофизики береговых ландшафтов, а также безопасности мореплавания.

Наибольший интерес решение рассматриваемой проблемы представляет для участков морских побережий, расположенных на подходах к портам, а также используемых в целях рекреации. Многие из таких участков побережья Черного моря относятся к его Северо-Западной части.

Важнейшей характеристикой межгодовой изменчивости среднемесячных значений уровня моря является тенденция этого процесса, которая количественно характеризуется угловым коэффициентом линейного тренда, рассчитанным на многолетнем ряде результатов их мониторинга [1].

Согласно современным представлениям о факторах, способных обуславливать ту или иную тенденцию изменений уровня моря на любом участке его побережья, все их многообразие может быть условно разделено на метеорологические, а также геофизические.

К метеорологическим относятся процессы, которые способны изменять объем вод, образующих тот или иной водоем (атмосферные осадки, речной сток и т.п.), либо деформирующие их поверхность (ветер, приливы и т.п.). Все такие процессы в той или иной мере зависят от состояния климата, современная фаза потепления которого началась в конце семидесятых годов XX века. Поэтому как современный в дальнейшем будем рассматривать период времени после 1979 года.

К геофизическим процессам относятся тектонические, а также другие эндогенные и экзогенные геологические процессы, изменяющие объем впадины, заполненной этими водами [2–5].

Несмотря на то, что мониторинг многих из этих процессов в Причерноморском регионе осуществляется уже многие десятилетия, их роли в формировании современных тенденций изменения уровня Черного моря у различных участков побережья его Северо-Западной части, происходящих в различные месяцы, ныне изучены недостаточно.

Нуждаются в дальнейшем изучении и сами современные тенденции этих процессов, несмотря на то, что систематические многолетние наблюдения за изменениями уровня Черного моря в указанном регионе проводятся в пунктах Севастополь, Евпатория, Черноморское, Хорлы, Очаков, Порт Южный, Одесса, Ильичевск, Белгород-Днестровский и Усть-Дунайск [6–8]. Это позволяет, применив те или иные методы интерполяции [9], оценить тенденции изменений уровня на любых участках побережья, расположенных между ними. Тем не менее, ранее подобных исследований не проводилось, что не позволяет учитывать тенденции изменения уровня моря на многих участках его побережий, при планировании намеченных на них мероприятий в области строительства экологической безопасности и инженерной защиты.

Учитывая это, объектом исследования в данной работе являются современные тенденции межгодовых вариаций уровня Северо-Западной части Черного моря на различных участках его побережья.

Предмет исследования – особенности сезонной изменчивости тенденций межгодовых вариаций уровня Северо-Западной части Черного моря в современный период.

Целью работы является оценка современных тенденций изменений уровня Северо-Западной части Черного моря на различных участках ее побережья, а также роли метеорологических и геофизических факторов в их формировании.

### **Материалы и методы**

Черное море относится к числу акваторий Мирового океана, в которых приливы существенной роли в изменениях их уровня не играют. Здесь наиболее существенными метеорологическими факторами изучаемого процесса являются межгодовые изменения месячных сумм атмосферных осадков, выпадающих на поверхность моря и его побережья, среднемесячных скоростей приземного ветра, а также месячных объемов стока рек Дунай и Днепр [1–4,8]. Мониторинг изменений характеристик этих факторов во всех пунктах, где ведутся на наблюдения за динамикой уровня моря, ведутся уже много десятилетий [10;11].

Учитывая то, что ни на дне Черного моря, ни на его побережьях действующих вулканов не выявлено, наиболее существенными геофизическими факторами, способными влиять на изменения уровня поверхности его Северо-Западной части являются происходящие здесь тектонические, а также абразионные и аккумулятивные процессы [3;12].

Инструментальные наблюдения за этими процессами ныне ведутся лишь в отдельных пунктах изучаемого побережья, а полученных данных недостаточно для получения цельных и адекватных представлений об их роли в изменениях

уровня Северо-Западной части моря у любых участков его побережий. Тем не менее, качественный вывод о значимости влияния подобных процессов можно получить, сопоставив тенденции изменения среднемесячного уровня рассматриваемой части моря на различных участках ее побережья, с тенденциями изменения на них месячных сумм атмосферных осадков, а также среднемесячных скоростей ветра.

Поэтому для достижения цели данной работы, в ней решены две задачи:

1. Интерполяция результатов оценки среднемесячных значений измерений уровня моря, скоростей ветра, а также месячных сумм атмосферных осадков на все участки побережья Северо-Западной части Черного моря, которые рассматривались как репрезентативные.

2. Оценка тенденций изменения всех рассматриваемых характеристик для всех изучаемых участков побережья Северо-Западной части Черного моря, а также месячных объемов стока рек Дунай и Днепр.

При выборе репрезентативных участков побережья учитывались их ландшафтные особенности.

При решении первой задачи использован метод триангуляции Делоне [13]. Погрешности интерполяции оценены для пункта наблюдения в порту Южном. При этом была осуществлена интерполяция среднемесячных значений уровня моря в этом пункте, с учетом данных, полученных во всех прочих пунктах, где систематически велись наблюдения за изменениями этой характеристики. Результаты интерполяции для каждого месяца и года сопоставлены с результатами фактических измерений уровня моря в данном пункте. Это позволило оценить для каждого месяца систематические погрешности интерполяции и ее абсолютные погрешности, рассматриваемые как характеристики ее точности.

При решении второй задачи как количественная характеристика тенденции каждого изучаемого процесса использовано значение углового коэффициента линейного тренда его временного ряда [14]. Результаты таких вычислений, которые соответствуют тому или иному процессу, отображены на контурных картах Северо-Западной части Черного моря своими изолиниями. При этом также использован метод триангуляции Делоне.

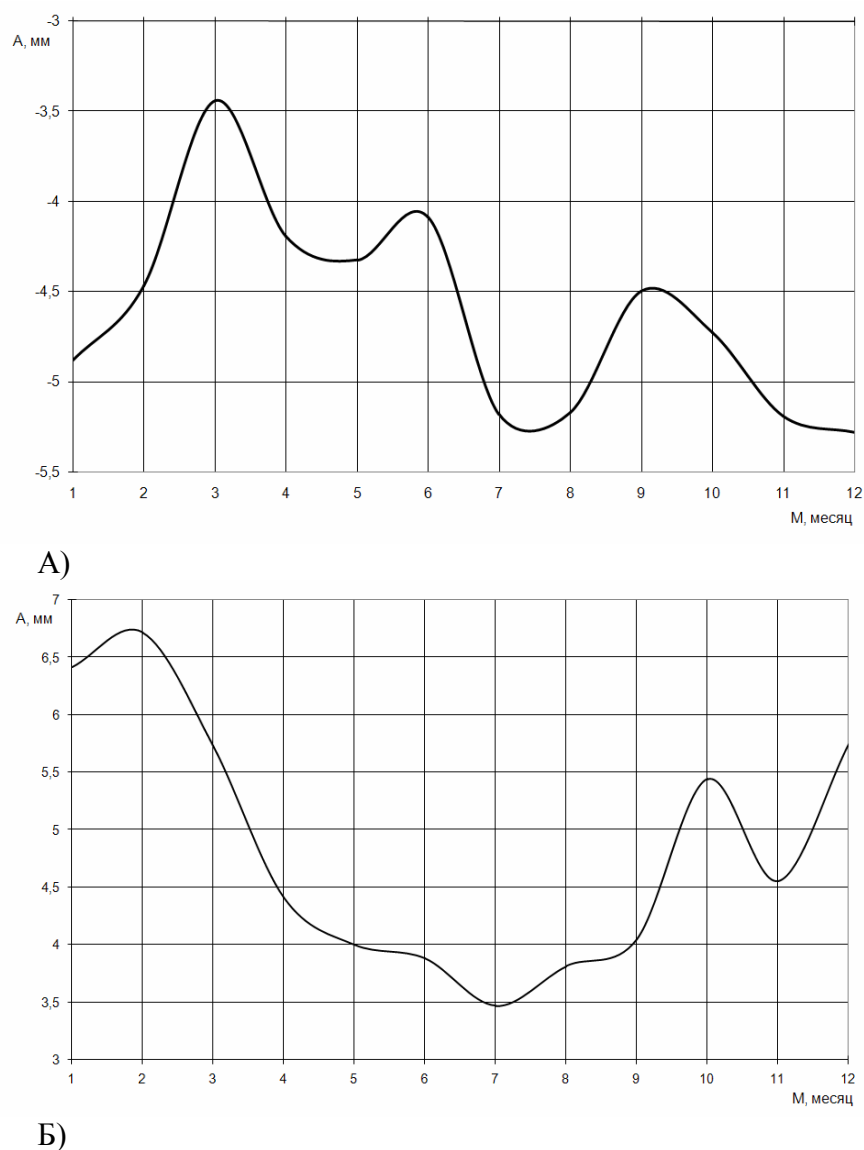
Как фактический материал использованы данные об изменениях среднемесячных значений уровня Черного моря в пунктах Севастополь, Евпатория, Черноморское, Хорлы, Очаков, Порт Южный, Одесса, Ильичевск, Белгород-Днестровский и Усть-Дунайск за каждый месяц, в период с января 1979, полученные из электронного атласа «Гидрометеорологические условия в Азовском и Черном морях» МГИ НАН Украины. Из этого же источника получены данные об изменениях за тот же период среднемесячных скоростей приземного ветра и месячных сумм атмосферных осадков в тех же пунктах.

Сведения об изменениях месячных объемов стока рек Дунай и Днепр получены из [15].

## **Результаты и обсуждение**

В соответствии с изложенной методикой для пункта наблюдения в порту Ильичевск и для каждого месяца оценены систематические и абсолютные

погрешности интерполяции. Их зависимости от номера месяца приведены на рис. 1.

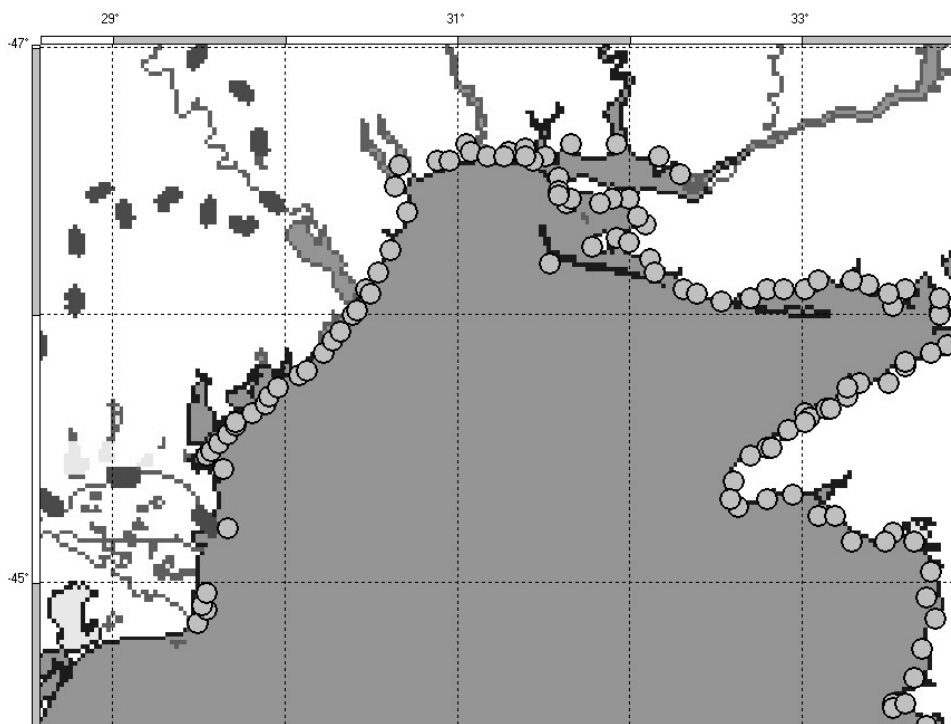


**Рис. 1.** Зависимости от номера месяца систематических и абсолютных погрешностей интерполяции уровня моря в порту Южном:  
А) – систематические погрешности; Б) – абсолютные погрешности.

Как видно из рисунка 1, в зимние месяцы точность интерполяции несколько ниже, чем в летние, тем не менее, для достижения цели, поставленной в данной работе, она достаточна.

Для решения первой задачи на побережье Северо-Западной части Черного моря, учитывая характеристики ландшафтов различных его участков, выбраны те из них, которые рассматривались как репрезентативные.

Расположение геометрических центров выбранных участков показано кружками на рис. 2.



**Рис. 2.** Расположение репрезентативных участков на побережье Северо-Западной части Черного моря.

Как следует из рис. 2, как репрезентативные рассматриваются многие участки побережья, используемые в целях рекреации, а также расположенные на подходах к портам Севастополь, Евпатория, Черноморское, Очаков, Порт Южный, Одесса и Ильичевск.

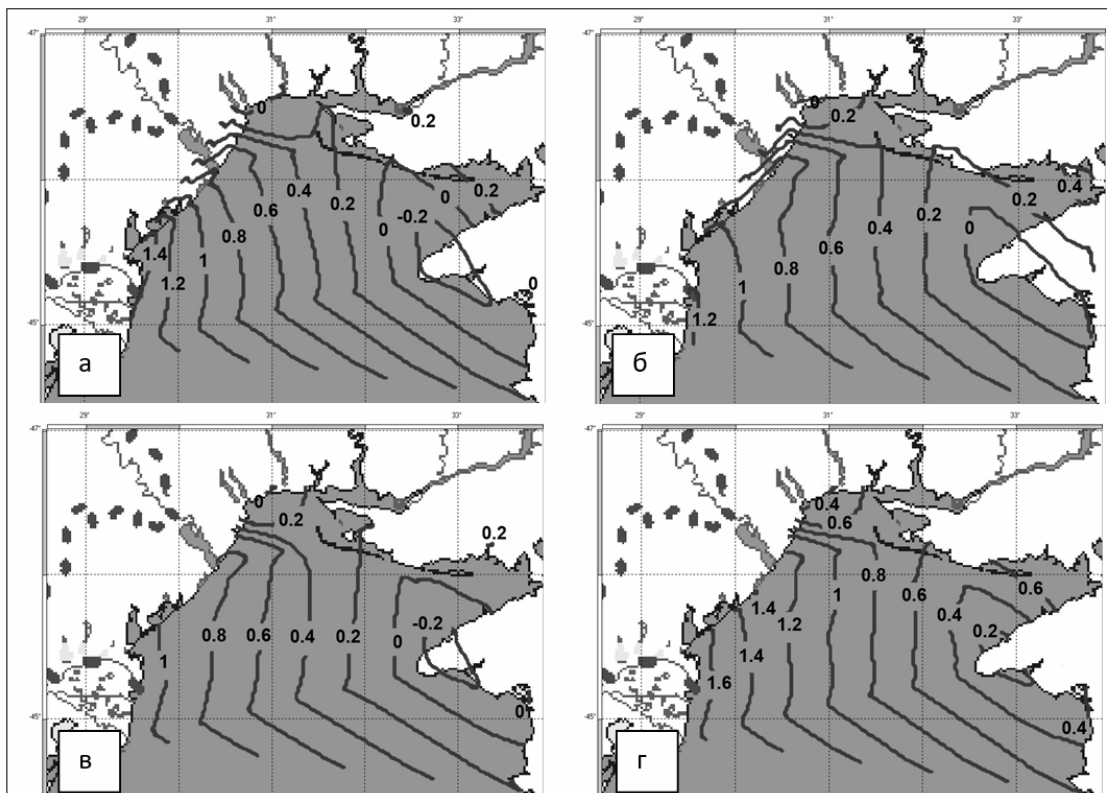
Для каждого из репрезентативных пунктов и каждого месяца осуществлена интерполяция значений среднемесячного уровня моря, скорости приземного ветра, а также месячных сумм атмосферных осадков.

Также осуществлена интерполяция для пунктов акватории моря, расположенных на пересечениях параллелей и меридианов, показанных на рис. 2.

Для каждого пункта и каждого месяца оценена тенденция изменения всех рассматриваемых характеристик. Полученные результаты для каждой характеристики и каждого месяца отображены на контурной карте Северо-Западной части Черного моря с использованием метода триангуляции Делоне.

В качестве примеров на рис. 3 показаны, полученные таким образом, зависимости углового коэффициента линейного тренда межгодовых изменений среднемесячных значений уровня Северо-Западной части Черного моря для месяцев январь, апрель, июль и октябрь.

Из рис. 3 нетрудно заметить, что в любые месяцы наибольшие средние скорости повышения уровня Северо-Западной части Черного моря в современный период имели место на участках, расположенных на ее западном побережье, от устья Днестровского лимана.



**Рис. 3.** Распределение по акватории Северо-Западной части Черного моря тенденций изменения ее уровня в период с 1979 г.: А) январь, Б) апрель, В) июль, Г) октябрь.

Наименьшие средние скорости рассматриваемого процесса соответствовали участкам, расположенным на западном берегу Крымского полуострова, между портами Черноморск и Евпатория.

На северном побережье моря, на участке от Порты Ильичевск до Порты Южный, уровень моря на протяжении всего года оставался практически неизменным.

Метеорологические факторы могли бы вызвать подобные изменения, если бы объемы месячного стока реки Дунай в период с 1979 г. ощутимо возрастали, либо месячные суммы осадков, выпадавших на западе региона, увеличивались, а на востоке уменьшались, либо если на западе моря становились более интенсивными нагонные явления, вызванные увеличением скорости ветра.

Установлено, что в действительности подобных явлений не происходило. В этом нетрудно убедиться на примере зависимостей от месяца тенденций фактических изменений среднемесячных скоростей ветра и месячных сумм атмосферных осадков в п. Черноморское, Евпатория и Белгород–Днестровский, представленных на рис. 4.

Из рис. 4 следует, что за современный период (с 1979 г.) и на восточных, и на западных побережьях Северо-Западной части Черного моря годовой ход тенденций изменения среднемесячных скоростей ветра и месячных сумм атмосферных осадков был во многом подобным.

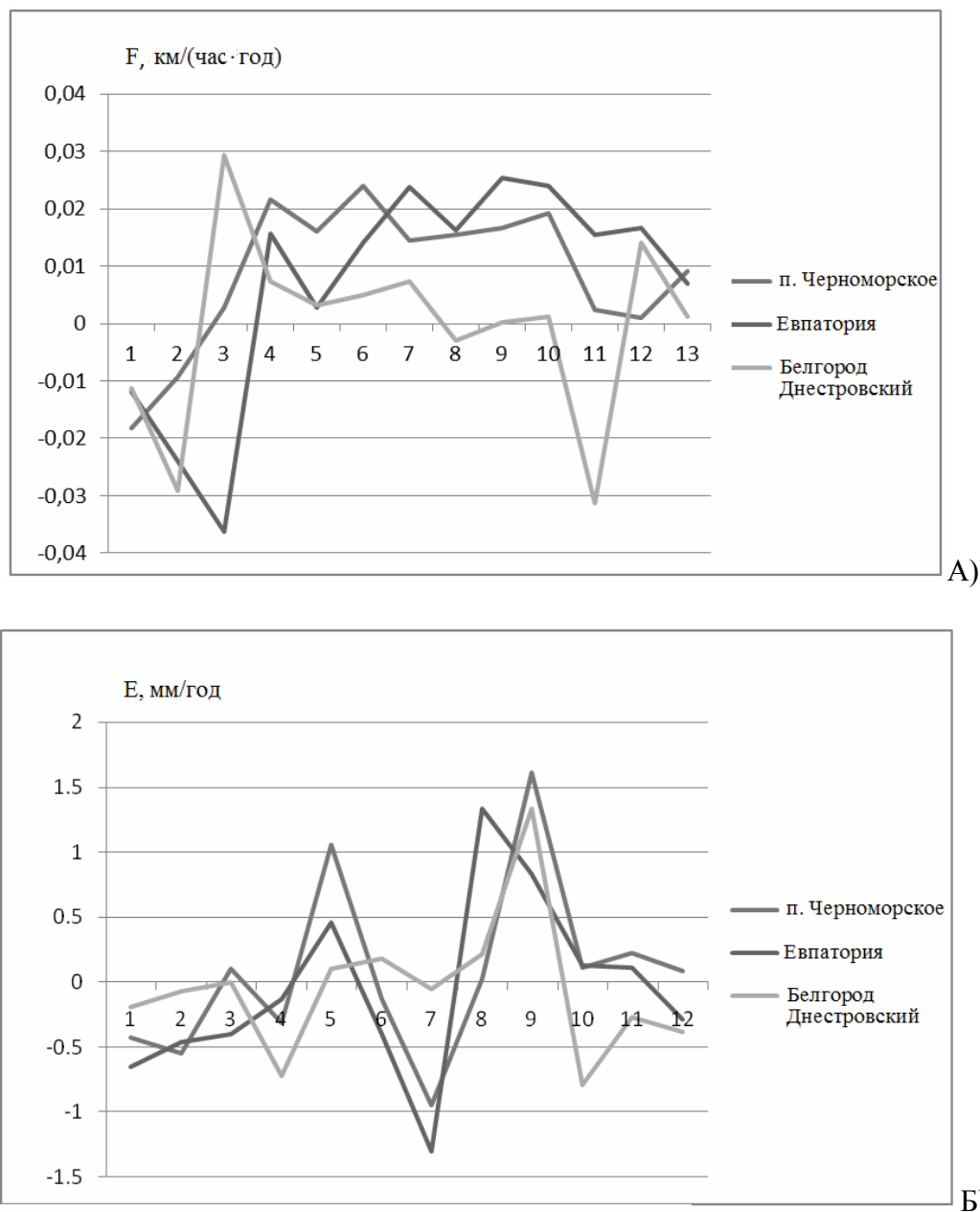
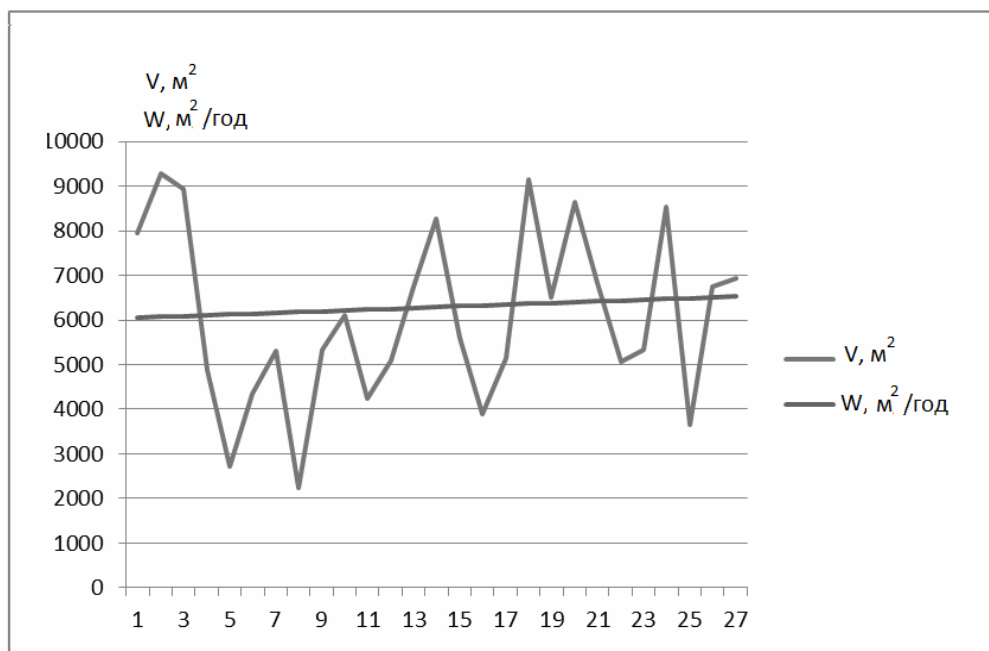


Рис. 4. Зависимости от времени года тенденций фактических межгодовых вариаций среднемесячных скорости ветра (F) и месячных сумм атмосферных осадков (E) в п. Черноморское, Евпатория, и Белгород-Днестровский

Из рис. 4А видно, что в январе и феврале всюду преобладали тенденции к уменьшению скоростей ветра, а в марте-июле, а также декабре (и в среднем за год) – к их увеличению. Из этого следует, что сгонно-нагонные явления в январе и феврале на всех изучаемых участках побережья становились слабее, а в прочие месяцы (и в среднем за год) – сильнее. Поэтому современные тенденции изменений уровня моря, обусловленных переменами ветрового режима и на западных и восточных побережьях Северо-Западной части моря, в январе, а также апреле, июле и октябре должны быть противоположными (чего, как видно из рисунка 3, не зафиксировано).

Как показывает рис. 4Б, тенденции к уменьшению месячных сумм атмосферных осадков и на западе, и на востоке Северо-Западной части Черного моря в современный период проявлялись в декабре-апреле, а также июле. В мае, августе и сентябре месячные суммы осадков на тех же участках побережий увеличивались. Это позволяет предполагать, что аналогичным образом изменялись в тот же период месячные суммы атмосферных осадков, выпадавших на всю поверхность Северо-Западной части моря и в принципе способных породить те или иные тенденции динамики его уровня на всех участках ее побережий. И на западных и на восточных участках ее побережий данный фактор в мае, августе и сентябре должен был бы вызывать увеличение уровня моря, а в зимние месяцы, в марте, апреле и июле – его уменьшение (чего, как следует из рис. 3, не наблюдается).

На рис. 5 приведены зависимость от времени годовых объемов вод реки Дунай, поступающих в Черное море в 1979-2005 гг., а также ее линейный тренд.



**Рис. 5.** Зависимость от времени годовых расходов стока реки Дунай в период 1979-2005 г., где  $V, \text{м}^3$  – годовой объем стока реки Дунай,  $W, \text{м}^3/\text{год}$  – линейный тренд изменений годовых объемов стока реки Дунай

Как видим из рис. 5, за рассматриваемый период, годовой объем стока реки Дунай изменялся в широких пределах, тем не менее, значимой тенденции к его возрастанию, либо убыванию, не выявлено (колебания происходили практически на постоянном среднем уровне). Из этого следует, что причиной выявленных тенденций межгодовых изменений уровня Черного моря на изучаемых участках его побережья, вариации объемов стока реки Дунай быть не могли.

Сопоставляя рисунки 3, 4 и 5, можно заключить, что за современный период, в любые месяцы уровень Северо-Западной части Черного моря, к ее западных побережий устойчиво повышался. В тоже время на ее восточных побережьях скорость этого процесса была ощутимо ниже, а в районе полуострова



Тарханкут, в весенние и летние месяцы наблюдалась противоположная тенденция (уровень моря снижался). Причинами подобных изменений выявленные тенденции вариаций характеристик рассмотренных факторов динамики водного баланса Северо-Западной части моря (ветра, атмосферных осадков, а также речного и берегового стока) быть не могут.

Последнее позволяет рассматривать выявленные закономерности, как проявление тектонических процессов, деформирующих земную кору в регионе и вызывающих ее опускание в его западной части.

### **Выводы**

Таким образом, установлено:

1. Тенденции изменения уровня Северо-Западной части Черного моря на репрезентативных участках ее западных и восточных побережий за современный период (после 1979 г.) в различные месяцы являлись подобными. При этом на западе региона преобладали устойчивые тенденции к его повышению, а на побережье полуострова Тарханкут – к его снижению.

2. В силу качественных отличий, выявленные тенденции вариаций среднемесячных скоростей ветра, месячных сумм атмосферных осадков, а также объемов речного и берегового стока, основными причинами выявленных изменений уровня данного водного объекта быть не могут.

3. Полученные результаты не противоречат предположению, согласно которому главным фактором, обусловившим тенденции изменения уровня Северо-Западной части Черного моря на всех репрезентативных участках ее побережий, являются тектонические процессы.

Вследствие высокой инерционности тектонических процессов, представляется вероятным, что выявленные тенденции изменений уровня Северо-Западной части Черного моря сохранятся и в ближайшем будущем, что необходимо учитывать при планировании дноуглубительных работ в портах и подходах каналах, а также гидротехнического строительства.

### **Литература**

1. Шуйский Ю.Д., Андрианова О.Р. Сравнение многолетних тенденций изменения уровня на станциях Черного и Азовского морей // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: сб. научн. трудов. 2013. Вып. 27. Т.1. С. 388–393.
2. Богуславский С.Г., Кубриков А.И., Иваненко И.К. Изменения уровня Черного моря // Морской гидрофизический журнал. 1997. № 3. С.47–57.
3. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А. Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее / под ред. академика НАН Украины Еремеева В.Н. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. 210 с.
4. Каплин П.А., Селиванов А.О. Изменения уровня морей России и развитие берегов: прошлое, настоящее, будущее. М.: ГЕОС, 1999. 299 с.
5. Берд Э. Ч. Ф. Изменения береговой линии: глобальный обзор / перевод с англ. Д.Д. Бадюкова. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 254 с.

6. Андрианова О.Р. Оценка связи колебаний уровня Черного моря на станциях северо-западного побережья с расходами рек Днепр и Дунай // Український гідрометеорологічний журнал. 2006. №1. С.241–247.
7. Благоволін Н.С., Победоносцев С.В. Современные вертикальные движения берегов Черного и Азовского морей // Геоморфология. 1973. № 3. С. 46–55.
8. Рева Ю.С. Межгодовые колебания уровня Черного моря // Океанология. 1997. Т. 37. №2. С. 211–219.
9. Половко А., Бутусов П. Интерполяция. Методы и компьютерные технологии их реализации. СПб.: БХВ-Петербург. 320с.
10. Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н. Режим ветра северо-западной части Черного моря и его климатические изменения // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: сб. научн. трудов. 2008. Вып.17. С. 225–243.
11. Андрианова О.Р. О влиянии сезонной и межгодовой изменчивости речного стока на соленость прибрежных вод северо-западной части Черного моря // Морской гидрофизический журнал. 1996. №2. С. 54–61.
12. Шуйский Ю.Д. Волновое влияние на берега морей на фоне современных изменений климата // Доповіді НАН України. 1996. №10. С. 119-122.
13. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и его применение. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. 128 с.

A.V. Kholoptsev,  
L.S. Zakharenkova

***Factors and trends of renewable energy  
development in Sub-Saharan Africa.***

---

Sevastopol Marine Academy, Sevastopol, Russian Federation  
e-mail: [kholoptsev@mail.ru](mailto:kholoptsev@mail.ru); [zakharenkova\\_888@list.ru](mailto:zakharenkova_888@list.ru)

The features trends of changes in the level of the Black Sea in the modern period (after 1979), which appeared in different months, at points on the coasts of the its north-western part. These peculiarities suggest that one of the main reasons for having a place of their differences are tectonic processes in the region.

**Keywords:** sea level, climate variability, interpolation, trend, Delaunay triangulation method.

***References***

1. Shujskij Ju.D., Andrianova O.R. Sravnenie mnogoletnih tendencij izmenenija urovnja na stancijah Chernogo i Azovskogo morej // Jekologicheskaja bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa: sb. nauchn. trudov. 2013. Vyp. 27. T.1. S. 388–393.
2. Boguslavskij S.G., Kubrikov A.I., Ivanenko I.K. Izmenenija urovnja Chernogo morja // Morskoj gidrofizicheskij zhurnal. 1997. № 3. S.47–57.
3. Gorjachkin Ju.N., Ivanov V.A. Uroven' Chernogo morja: proshloe, nastojashhee i budushhee / pod red. akademika NAN Ukrainy Eremeeva V.N. Sevastopol': MGI NAN Ukrainy, 2006. 210 s.

4. Kaplin P.A., Selivanov A.O. *Izmeneniya urovnja morej Rossii i razvitie beregov: proshloe, nastojashhee, budushhee*. M.: GEOS, 1999. 299 s.
5. Berd Je. Ch. F. *Izmeneniya beregovej linii: global'nyj obzor / perevod s angl.* D.D. Badjukova. L.: Gidrometeoizdat, 1990. 254 s.
6. Andrianova O.R. *Ocenka svjazi kolebanij urovnja Chernogo morja na stancijah severo-zapadnogo poberezh'ja s rashodami rek Dnepr i Dunaj // Ukraïns'kij gidrometeorologichnij zhurnal*. 2006. №1. S.241–247.
7. Blagovolin N.S., Pobedonoscev S.V. *Sovremennye vertikal'nye dvizheniya beregov Chernogo i Azovskogo morej // Geomorfologija*. 1973. № 3. S. 46–55.
8. Reva Ju.S. *Mezhgodovye kolebanija urovnja Chernogo morja // Okeanologija*. 1997. T. 37. №2. S. 211–219.
9. Polovko A., Butusov P. *Interpoljacija. Metody i komp'juternye tehnologii ih realizacii*. SPb.: BHV-Peterburg. 320s.
10. Repetin L.N., Belokopytov V.N. *Rezhim vetra severo-zapadnoj chasti Chernogo morja i ego klimaticheskie izmeneniya // Jekologicheskaja bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa: sb. nauchn. trudov*. 2008. Vyp.17. S. 225–243.
11. Andrianova O.R. *O vlijanii sezonnoj i mezhgodovoj izmenchivosti rechnogo stoka na solenost' pribrezhnyh vod severo-zapadnoj chasti Chernogo morja // Morskij gidrofizicheskij zhurnal*. 1996. №2. S. 54–61.
12. Shujskij Ju.D. *Volnovoe vlijanie na berega morej na fone sovremennyh izmenenij klimata // Dopovidi NAN Ukraïni*. 1996. №10. S. 119-122.
13. Skvorcov A.V. *Trianguljacija Delone i ego primenenie*. Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 2002. 128 s.

*Поступила в редакцию 28.08.2015 г.*