

УДК 551.465

¹Шуйский Ю.Д., доктор геогр. наук, проф.²Холопцев А.В., доктор геогр. наук, проф.³Никифорова М.П., аспирант¹кафедра физич. географії та природопольовання,
Одеського нац. університету ім. І.І. Мечнікова,

ул. Дворянская 2, Одесса-82, 65082, Украина

²кафедра прикладной экологии и охраны труда,

Севастопольский нац. технич. университет,

ул. Гоголя 14, Севастополь-53, 99053, АРК, Украина

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ТЕНДЕНЦИЙ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ ЧЕРНОГО МОРЯ МЕЖДУ УСТЬЯМИ ДУНАЯ И ДНЕСТРА В ПЕРИОД С 1979 ПО 2006 гг.

Получены материалы фактических изменений уровня Черного моря и значений отклонений от среднего по месяцам, сезонам года и в межгодовом разрезе. За весь период 1979-2006 гг. уровень моря в общем повышался на участке исследований. Изучены закономерности пространственно-временной изменчивости тенденций межгодовых изменений уровня Черного моря на участке между устьями Дуная и Днестра, проявившиеся в период вторичного потепления.

Ключевые слова: Черное море, берег, уровень, метод Делоне, расчет, интерполяция, тренд, вторичное потепление

ВВЕДЕНИЕ

Согласно современным представлениям о факторах динамики физико-географических процессов на побережьях Мирового океана [1], к числу важнейших относятся межгодовые изменения соответствующих значений его уровня. Поэтому изучение закономерностей тенденций этого процесса, проявляющихся на различных их участках является, *актуальной* проблемой физической географии.

Значительный интерес их изучение представляет на низменных участках побережий, где даже сравнительно небольшое изменение уровня моря способно приводить к значительным изменениям берега, а также физико-географических условий на обширных прибрежных территориях и акваториях [1, 3]. Одним из подобных участков является берег Северо-Западной части Черного моря между устьями Дуная и Днестра [4]. Тем не менее, систематические, непрерывные и по одной методике наблюдения за изменениями уровня Черного моря в последние десятилетия на этом участке не осуществлялись. На большинстве точек этого района берега подобных наблюдений не велось никогда. В тех же пунктах, где наблюдения осуществлялись в разное время (Приморское, Шаганы, Лебедевка, Цареградское гирло и Белгород-Днестровский), временные ряды их результатов содержат пропуски. Поэтому закономерности пространственно-временной изменчивости тенденции межгодовых изменений уровня Черного моря на этом участке и поныне изучены недостаточно. Следовательно, тема данной статьи является *актуальной*.

Объектом исследования были выбраны характеристики уровня Черного моря на участке берега между устьями Дуная и Днестра. *Предметом исследования* являлись закономерности сезонной и пространственной изменчивости тенденций многолетних изменений уровня моря.

Целью данной работы является выявление особенностей рассматриваемого процесса, проявившихся в различных пунктах рассматриваемого участка черноморского побережья, проявившихся в период с 1979 по 2005 гг., что важно для оптимизации природопользования на исследованном побережье. Для достижения цели работы следует решить такие *основные задачи*: а) собрать и систематизировать необходимую информацию; б) выполнить расчеты линейного тренда межгодовых изменений среднемесячных, среднесезонных и среднегодовых значений уровня Черного моря для всех пунктов его побережья; в) определить и оценить зависимость от географической широты среднегодовых тенденций межгодовых изменений уровня моря; г) установить закономерности изменения уровня Черного моря вдоль берега Черного моря в районе между устьями Дуная и Днестра.

Расчет изменений уровня моря с помощью теоретических методов, выявление сценариев на будущее и их оценка определяют *теоретическое значение* статьи. Такие теоретические исследования необходимы для природного обоснования различных видов хозяйственной деятельности на морском побережье: рекреационной, рыболовной, сельскохозяйственной, для рационального использования ресурсов лиманов и др. На это было обращено внимание еще в 70-е года XX века [3, 4]. Поэтому материалы и выводы статьи имеют также и *практическое значение*.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Регулярные наблюдения за динамикой среднемесячных значений уровня Черного моря в период с 1979 по 2006 гг. осуществлялись в 15 береговых пунктах, расположенных на других участках его берегов. Их наличие позволяет оценить среднемесячные значения уровня моря на изученных участках, применив те или иные методы интерполяции. Одним из наиболее простых в реализации методов интерполяции, хотя и наименее точных, является метод триангуляции Делоне [2]. Данный метод реализует принцип линейной интерполяции, а его погрешности зависят от расположения пунктов, по данным которых она осуществляется, и пунктов, для которых производятся оценки. При этом делаем допущение, что закономерности относительных изменений уровня моря на участке «Одесский залив–м. Аджияск» (где расположен водомерный пост «Порт Южный») аналогичны изменениям на участке между устьями Дуная и Днестра.

Для участка берега Черного моря между устьями Дуная и Днестра точность интерполяции его уровня с помощью упомянутого, либо иных методов, ранее не оценивалась, а тенденции межгодовых изменений уровня моря не изучались упомянутым методом. Это осложняет разработку рекомендаций по совершенствованию системы природопользования, а также социально-экономическому развитию соответствующих районов Одесской области на побережье Черного моря.

Для достижения указанной цели изучались проявившиеся в период с 1979 по 2006 гг. тенденции межгодовых изменений среднемесячных, а также среднесезонных и среднегодовых значений уровня Черного моря в пунктах его побережья, расположенных на берегу между устьями Дуная и Днестра (рис. 1).

Изменения уровня моря изучались здесь по 22 пунктам, из которых первые три расположены в непосредственной близости от тех или иных гирл Дуная, а две последние – на различных сторонах протоки Днестровского лимана.

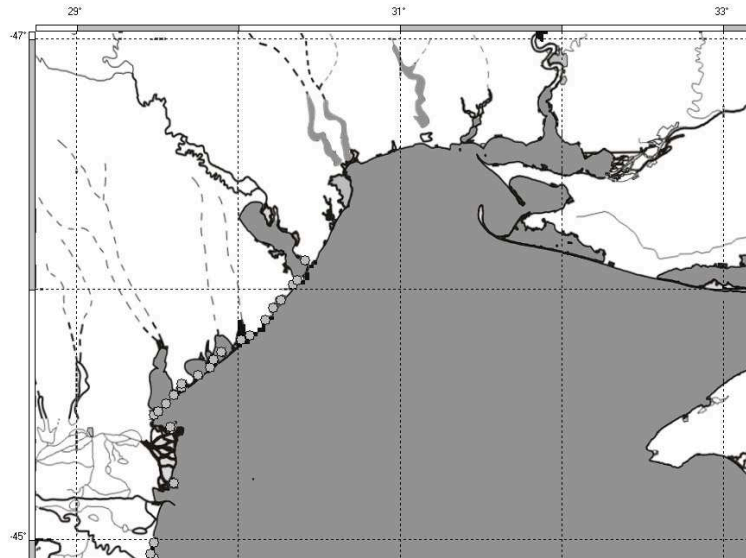


Рис. 1. Расположение на берегу Черного моря пунктов, для которых осуществлялась интерполяция среднемесячных значений его уровня.

Временные ряды, отображающие межгодовые изменения соответствующих значений уровня моря в этих пунктах в период с 1979 по 2005 гг. были интерполированы по методу триангуляции Делоне с использованием результатов их измерения в пунктах (рис. 2), приведенных в Компьютерном атласе Черного и Азовского морей (МГИ НАНУ).

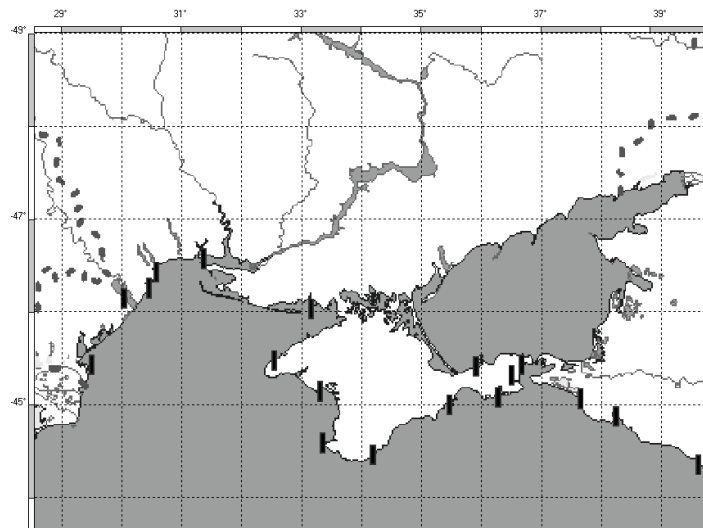
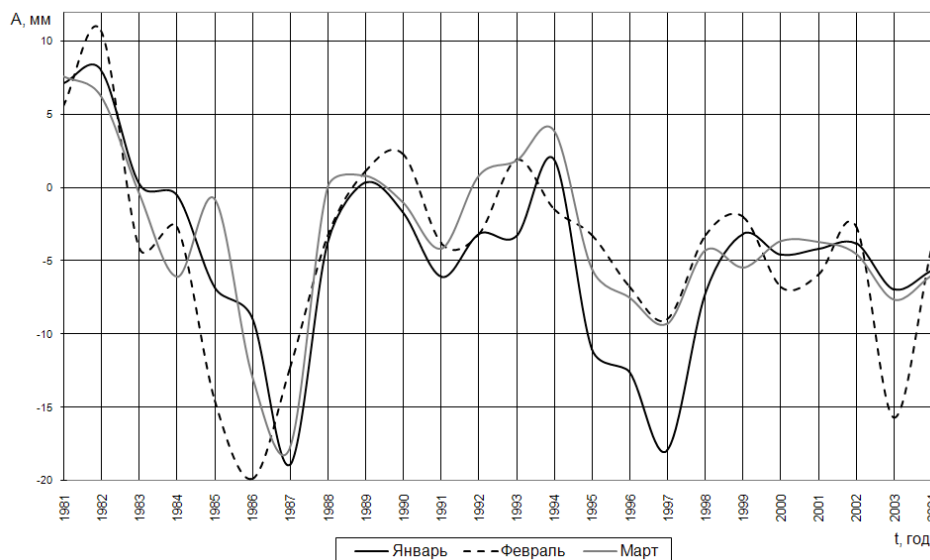


Рис. 2. Расположение пунктов, информация об изменениях уровня Черного моря в которых учитывалась при интерполяции.

Для оценки точности интерполяции значений уровней моря на рассматриваемом участке побережья, использовались данные по значениям уровня по порту Южный за 1979-2002 гг. Сравнивая эти данные с результатами интерполяции для каждого месяца и каждого года, были рассчитаны значения ее ошибок. В качестве примеров взяты значения летних и зимних месяцев (рис. 3а и 3б).



3б

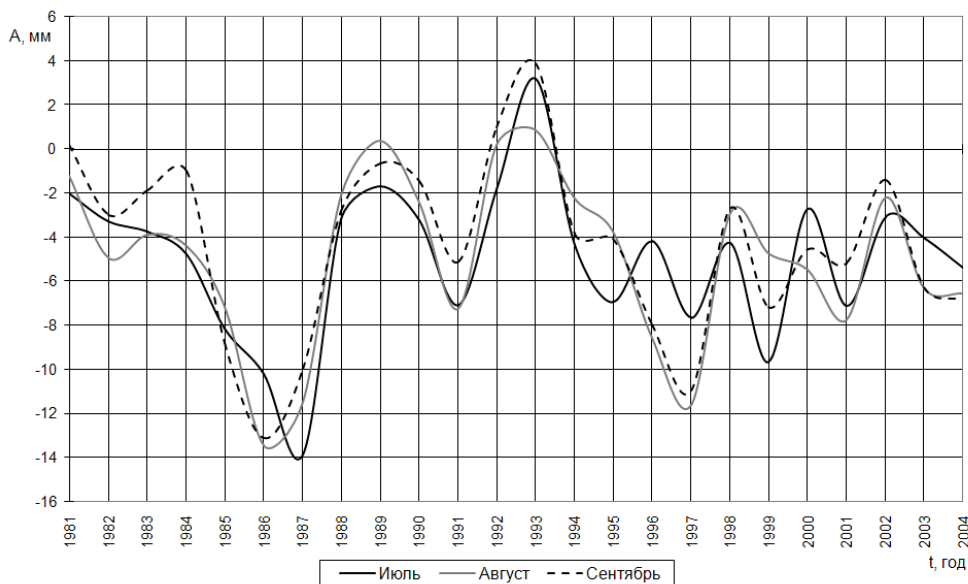


Рис. 3. Примеры зависимостей от времени (t) ошибок интерполяции уровней Черного моря в Порту Южном (A) зимой (3а) и летом (3б).

МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ДАННЫЕ ИХ КАМЕРАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

По полученным при этом временным рядам ошибок интерполяции были рассчитаны для каждого месяца значения ее систематической и абсолютной погрешности. Это позволило установить зависимость от значения конкретного месяца соответствующих значений систематической погрешности интерполяции среднемесячных значений уровня моря на в/п «Порт Южный». Причем, погрешность рассчитана как среднее арифметическое соответствующих значений ошибок. Как видим на рис. 4, на протяжении всего среднестатистического года интерполированные значения несколько уступают фактическим. Наибольшие значения их смещения, достигающие 5,25 мм, имеют место в июле, августе и декабре.

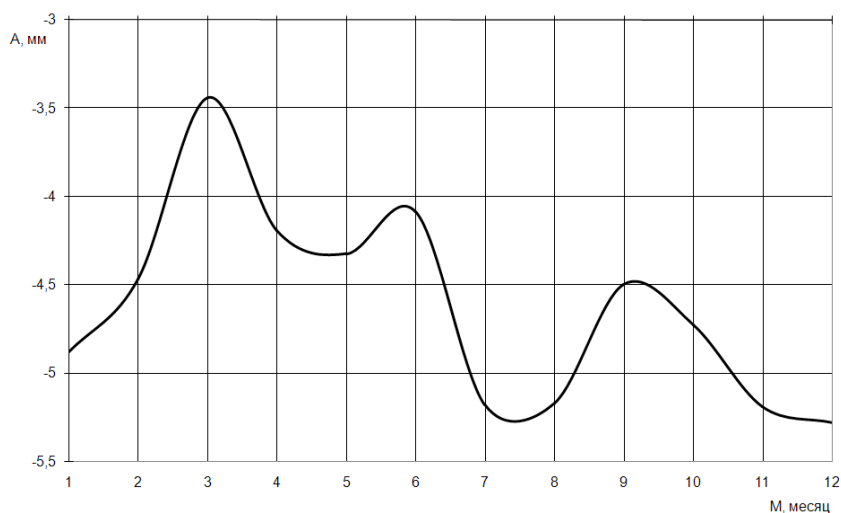


Рис. 4. Зависимость систематической ошибки интерполяции уровня моря в Порту Южном (А) от времени года (М).

На рис. 5 представлена зависимость от времени года среднеквадратической ошибки интерполяции среднемесячных значений уровня вдоль берега в Северо-западной части Черного моря в торговом порту Южный, которая при задании доверительной вероятности 0.95 совпадает с абсолютной погрешностью интерполяции. График показывает, что наибольшие значения абсолютной погрешности интерполяции имеют место в феврале, а наименьшие – в июле.

Значения среднесезонных и среднегодовых систематических и абсолютных погрешностей интерполяции уровня моря на в/п «Порт Южный», рассчитанных за рассматриваемый период, представлены в табл. 1.

Значения абсолютных погрешностей оценок соответствующих значений уровня моря в морском порту Южном не превышают амплитуды их межгодовых изменений (табл. 1 и рис. 5), что позволяет использовать интерполированные по методу Делоне временные ряды для прочих пунктов изучаемого участка побережья для оценки тенденций динамики собственных им значений этой характеристики.

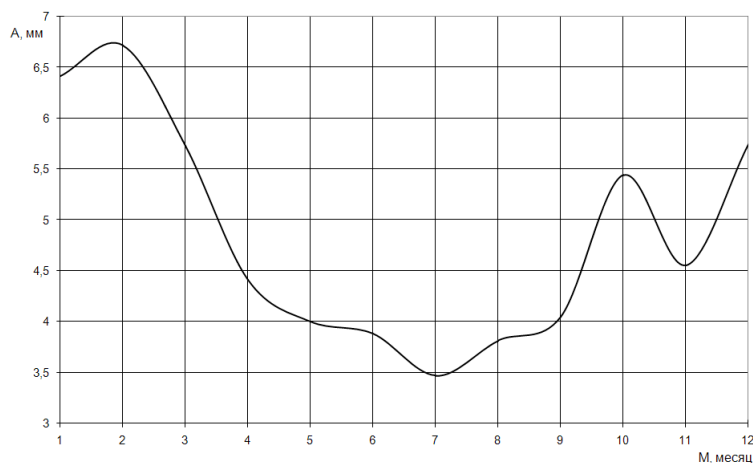


Рис. 5. Зависимость среднеквадратического отклонения результатов интерполяции уровня моря на в/п «Порт Южный» (А) от времени года (М).

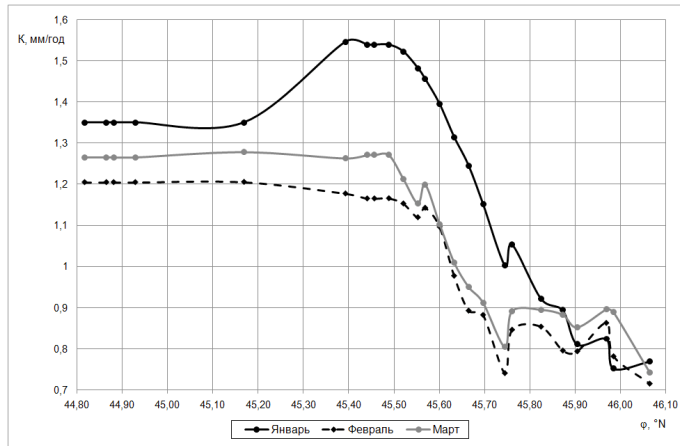
Значения углового коэффициента линейного тренда межгодовых изменений среднемесячных, среднесезонных и среднегодовых значений уровня Черного моря были рассчитаны для всех пунктов его побережья, обозначенных на рис. 1. Зависимости от географической широты тенденции межгодовых изменений среднемесячных значений уровня моря, для различных месяцев, приведены на рис. 6 а-г. Как видим, зимой на $j = 44,8-45,1^\circ$ с.ш. скорости повышения уровня моря держатся на похожих значениях, а затем, на от 45,15 до 45,4 резко растет 1,35 до 1,55 мм. Такой пик отсутствует в феврале и марте, в эти месяцы скорости роста уровня не превышают 1,2-1,3 мм/год.

Таблица 1

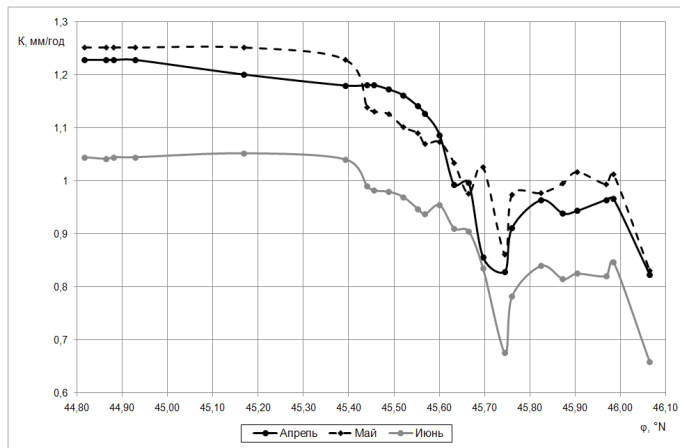
Погрешности интерполяции уровня Черного моря на в/п Южный

Погрешности	Месяцы				
	Январь-март	Апрель-июнь	Июль-сентябрь	Октябрь-декабрь	Год
Систематическая (мм)	-4.26	-4.20	-4.95	-5.07	-4,62
Среднеквадратическая (мм)	5.77	3.95	3.59	4.79	4,22

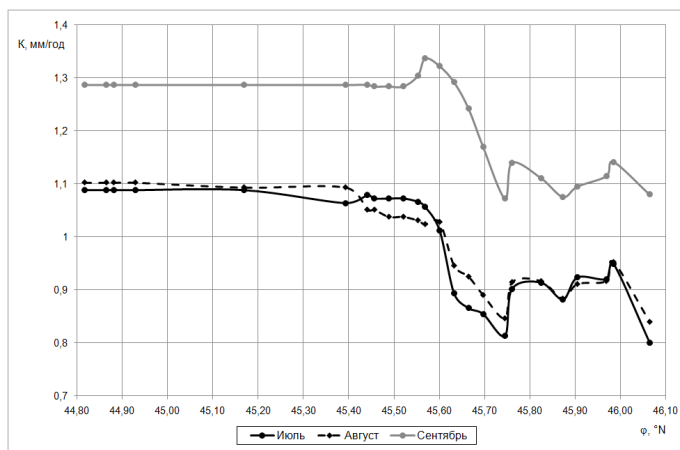
Как видно из рис. 6 а-г, во всех пунктах рассматриваемого участка побережья и во все месяцы в период с 1979 по 2005 гг. уровень Черного моря повышался. По мере удаления от устья Дуная к северо-востоку скорость этого процесса во все месяцы снижалась. Зимой максимальное значение скорости повышения уровня моря отмечалось в январе вдоль песчаной пересыпи Сасык, отделяющей одноименный лиман от Черного моря. Весной, летом и осенью ее наибольшие значения приходятся на районы побережья, расположенные непосредственно в устьевой зоне Дуная. В сентябре наибольшие значения скорости повышения уровня моря также отмечаются в районе побережья, примыкающем к северо-восточной оконечности пересыпи Сасык.



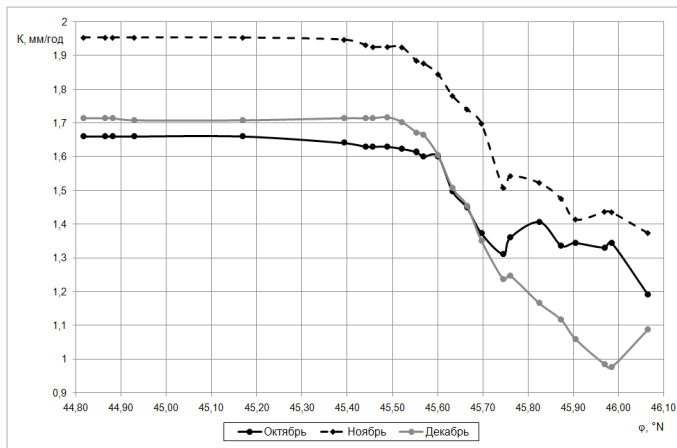
а) Графики в течение зимних месяцев.



б) Графики в течение весенних месяцев.



в) Графики в течение летних месяцев.



г) Графики в течение осенних месяцев

Рис. 6 а-г. Графики зависимости углового коэффициента линейного тренда межгодовых изменений среднемесячных значений уровня Черного моря от географической широты в пунктах, для которых осуществлялась интерполяция.

Зависимости среднесезонных значений угловых коэффициентов линейных трендов межгодовых изменений уровня Черного моря от географической широты в изучаемых пунктах оказались также весьма сложными (рис. 7). На нем, как видим, наибольшая средняя скорость повышения уровня моря на рассматриваемом участке берега приходится на осень, а наименьшая – на весну и лето. В целом повторяются тенденции, выявленные при анализе среднемесячных значений: средние скорости повышения уровня моря снижаются по мере продвижения от устья Дуная к устью Днестра.

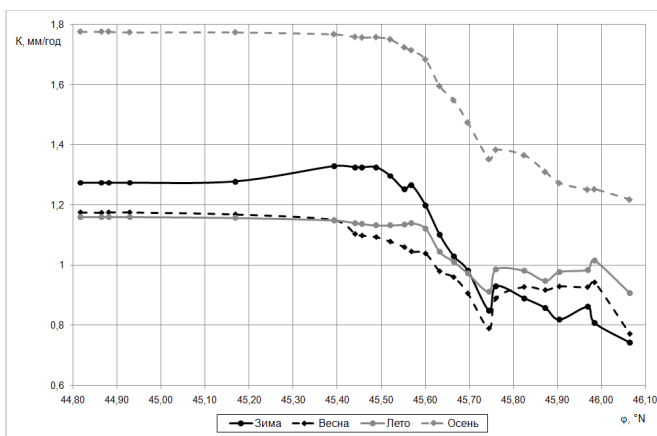


Рис. 7. Зависимость от географической широты углового коэффициента линейного тренда межгодовых изменений среднесезонных значений уровня моря в пунктах на его побережье, для которых осуществлялась интерполяция.

На рис. 8 приведена зависимость от географической широты среднегодовых тенденций межгодовых изменений уровня моря на рассматриваемом участке побережья, свидетельствующая о том, что и в целом за год упомянутые выше тенденции остаются неизменными.

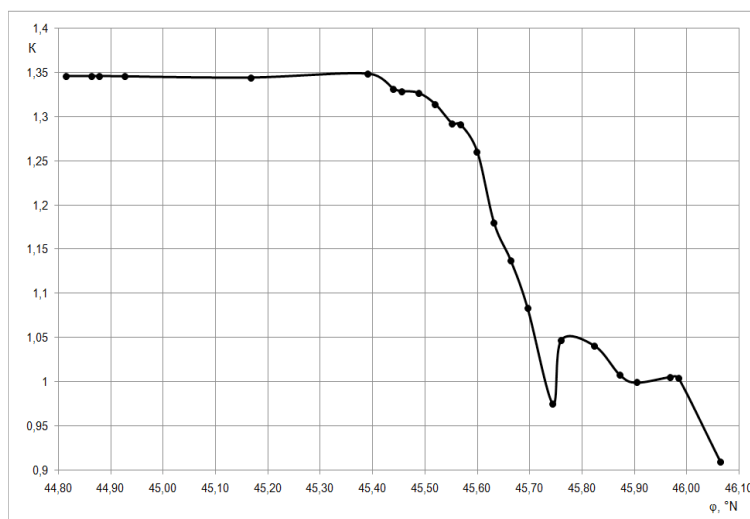


Рис. 8. Зависимость от географической широты углового коэффициента линейного тренда межгодовых изменений среднегодовых значений уровня моря в пунктах на его побережье, для которых осуществлялась интерполяция.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как известно, к числу основных причин повышения уровня моря в регионах, подобных Северо-Западной части Черного моря, могут относиться изменения годового объема стока впадающих в него рек, изменения характеристик поля скорости ветра, а также поверхностных течений, влияющие на интенсивность явлений сгона и нагона. Существенное влияние может оказывать и морфология берегов и дна [1-4].

Для оценки значимости фактора речного стока рассчитывались значения коэффициента корреляции межгодовых изменений среднегодовых значений уровня моря в рассматриваемых пунктах на берегу и годовых объемов стока рек Дунай, Днепр и Днестр в период с 1979 по 2005 г. Полученные при этом зависимости значений этого коэффициента от географической широты соответствующих пунктов оказались достаточно сложными (рис. 9).

Из представленного графика следует, что значимой статистической связи изменений среднегодовых значений уровня Черного моря в любых пунктах изучаемого участка его побережья, а также изменений годовых объемов стока рек Днестр и Дунай, не выявлено. Последнее позволяет предполагать, что основной причиной существования выявленной закономерности может являться изменение особенностей синоптических процессов над Северо-Западной частью Черного моря, влияющих на сезонную и пространственную изменчивость поля скорости ветра над морской поверхностью, а также характеристики течений его поверхностного слоя.

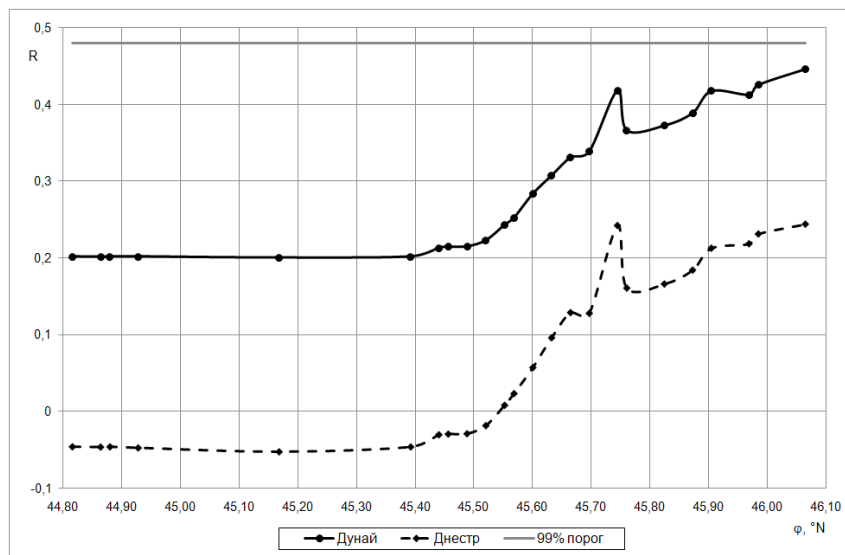


Рис. 9. Зависимость от географической широты значений коэффициента корреляции межгодовых изменений среднегодовых значений уровня моря в пунктах на его побережье, а также годовых объемов стока рек Днестр и Дунай.

Возможной причиной того, что максимальные значения скорости повышения уровня Черного моря на рассматриваемом участке его побережья в январе приходятся на пункты, расположенные на перемычке, отделяющей от моря озеро Ялпуг, является воронкообразная форма этого участка побережья (см. рис.1), а также усиление ветров, обеспечивающих нагон воды в западном направлении. В другие месяцы преобладающее направление нагона видимо иное, вследствие чего фактор формы контура берега менее значим.

Закономерно, что количество рыбы, проходящей из моря в Дунай на нерест, может существенно зависеть от особенностей поля скорости ветра над соответствующим районом моря, а также характеристик его поверхностных течений. Поэтому косвенным подтверждением того, что именно эти метеорологические и гидрологические факторы играют значимую роль в межгодовых изменениях уровня Черного моря могло бы явиться наличие значимой корреляции последних с изменениями количества промысловых рыб, проходящих ежегодно на нерест в Дунай и другие крупные реки.

Значение коэффициента корреляции этих процессов были рассчитаны для всех выбранных и рассматривавшихся пунктов на побережье. Полученные при этом результаты представлены на графиках рис. 10. На них сопоставлена зависимость коэффициента их корреляции R от географической широты пункта φ , с зависимостью от нее коэффициента корреляции годового стока Дуная и уровней моря.

Можно заключить, что значения коэффициента корреляции межгодовых изменений количества сельди, проходящей в Дунай, а также среднегодовых значений уровней моря на рассматриваемом участке морского берега, повсеместно отрицательны. По абсолютной величине они существенно превосходят значение 99%-го порога достоверной корреляции.

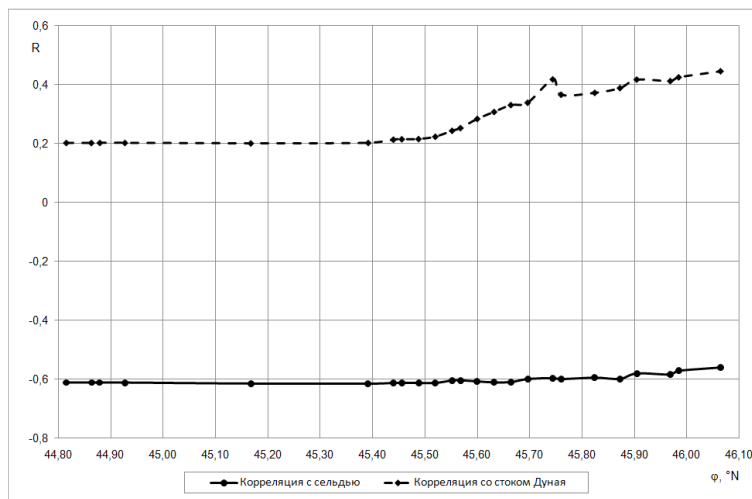


Рис. 10. Зависимость от географической широты ϕ значений коэффициента корреляции межгодовых изменений среднегодовых значений уровня моря R в пунктах на его берегу, а также годовых объемов стока р. Дунай и количества сельди, проходящей через нее. Значения 99%-порогов достоверной корреляции соответственно равны 0.51 и 0.48.

Несмотря на столь высокую корреляцию рассматриваемых процессов, данный факт лишь подтверждает возможность существования причинной связи между рассматриваемыми процессами. Но этот факт не доказывает ее, поскольку причинами наличия тенденций к уменьшению количества сельди, проходящей в Дунай, и тенденций к повышению уровней моря могут быть разными и между собой не связанными. Поэтому причины выявленных закономерностей заслуживают специального изучения и установления иных закономерностей.

ВЫВОДЫ

1. Метод триангуляции Делонэ может быть использован в задачах интерполяции уровня Черного моря на участке между устьями Дуная и Днестра.
2. В период с 1979 по 2005 гг., в любые месяцы и сезоны года, уровень Черного моря повышался в различных пунктах на берегу между устьями Дуная и Днестра. Средняя скорость этого процесса уменьшалась в направлении от устья Дуная на северо-восток до устья Днестра.
3. Межгодовые изменения среднегодовых за многолетний период значений уровня Черного моря во всех пунктах рассматриваемого участка берега Черного моря и годовых объемов стока рек Дунай и Днестр в период с 1979 по 2005 гг. статистически связанными не являлись.
4. Вероятной причиной выявленных закономерностей является изменение особенностей синоптических процессов над Северо-Западной частью Черного моря, влияющих на поле скорости ветра и характеристики его поверхностных течений, способные вызывать сгоны и нагоны.

Статья поступила в редакцию 07 мая 2013 года