

В.В. Дроздов

**ВЛИЯНИЕ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ И РЕЧНОГО СТОКА
НА УРОВНЕННЫЙ РЕЖИМ ЧЕРНОГО МОРЯ**

V.V. Drozdov

**INFLUENCE OF LARGE-SCALE PARAMETERS
OF CIRCULATION OF ATMOSPHERE AND RIVER DRAIN
ON DYNAMICS OF SEA LEVEL OF BLACK SEA**

Рассмотрены региональные особенности циркуляции водных масс и многолетней динамики уровненного режима Черного моря. Проанализированы степень и характер связи между значениями обобщенного индекса Северо-Атлантического колебания (NAOоб.), формами циркуляции атмосферы по Вангенгейму-Гирсу, и многолетней динамикой уровня Черного моря в 8 репрезентативных районах побережья. Произведена оценка влияния речного стока на динамику уровня в западных и восточных районах моря. Выполнен сравнительный анализ динамики уровня Черного моря в различных пунктах с уровнем на восточном побережье Атлантического океана и в Средиземном море.

Ключевые слова: Черное море, динамика уровня моря, Северо-Атлантическое колебание, речной сток.

Regional features of circulation of water masses and sea level dynamics of Black sea are considered. The character and depth complexity between values of the generalized index of North Atlantic Oscillation (NAO), forms of the atmosphere's circulation typification according to Vangengeim and Girs, and long-term dynamics of level of Black sea in 8 representative areas of coast are analyzed. The estimations of influence of a river drain on dynamics of level in the western and east areas of the sea is made. Close relationship between the indexes of atmosphere's activity and variability of level of the different areas of Black sea are established. The comparative analysis of dynamics of level of Black sea in various points with level of Atlantic ocean east coast and level in Mediterranean sea are analyzed.

Keywords: Black sea, sea level dynamics, North Atlantic Oscillation, river drain.

Введение

Среди внутренних морей Евразии, Черное море является наиболее изолированным от Атлантического океана, что, с учетом его южно-европейского географического положения определяет характерные океанологические и гидрологические условия моря. Через проливы Босфор и Дарданеллы, располагающиеся на юго-западе Черноморского региона, происходит соединение с Мраморным морем (граница между Черным и Мраморным морями проходит по линии м. Румели – Анадолю) и далее со Средиземным морем и Атлантическим океаном. Узость и относительная мелководность проливов, существенным образом затрудняет водообмен Черного моря, период которого составляет 700–900 лет. [1, 10]. Керченский пролив соединяет Черное и Азовское моря, границей между

которыми служит линия от м. Такиль до м. Панагия. В современных своих очертаниях Черное море характеризуется следующими основными морфометрическими характеристиками: площадь составляет 422 тыс. км², объем водной массы 555 тыс. км³, средняя глубина моря 1315 м, а наибольшая глубина – 2210 м (в точке 43°17' с. ш., 33°28' в. д.) [1, 10].

К наиболее важным гидрометеорологическим проблемам региона следует отнести исследование причин и закономерностей общей циркуляции вод моря, динамики уровенной поверхности под влиянием региональных и крупномасштабных процессов циркуляции океана и атмосферы, а также изменчивости объемов речного стока. Очевидно, что в зависимости от уровенного режима Черного моря, будет во многом зависеть интенсивность его водообмена с Мраморным и Средиземным морями, что в свою очередь имеет важные гидрохимические и гидробиологические следствия. Поэтому углубление комплексных исследований в данных направлениях позволит успешно решать задачи по оценке и прогнозу функционирования экосистемы Черного моря, рациональному управлению природопользованием в береговой зоне, что представляет собой актуальную задачу нашего времени. Целью настоящего исследования является анализ многолетней динамики уровенной поверхности Черного моря на береговых станциях в различных районах и установление комплекса основных причин, определяющих особенности этой динамики. Следует отметить, что в некоторых выполненных ранее работах по данной тематике [5, 10] авторы ограничиваются в основном логическими построениями и выводами о степени и характере зависимости уровня Черного моря в отдельных районах от некоторых метеорологических и гидрологических процессов, недостаточно обосновывая свои выводы аналитически, ограничено применяя статистико-вероятностные математические методы. Это также определяет необходимость и актуальность проведения настоящего исследования.

1. Гидрометеорологические особенности Черноморского региона

Основные черты климата Черноморского региона формируются под влиянием макроциркуляционных процессов протекающих в Северо-Атлантическом, Средиземноморском и Индо-океаническом регионах. Кроме того, в зимний период на восточные районы Азово-Черноморского региона оказывает влияние Сибирский антициклон [4,10]. Особенности очертаний береговой линии и форм рельефа на побережье, также создают заметные региональные климатические отличия. Черноморский регион расположен в двух климатических зонах: в умеренной (севернее 20 параллели 42° – 44° с. ш.) и в субтропической (южнее параллели 42° – 44° с.ш.). Для климата умеренной зоны характерны относительно мягкая влажная зима и жаркое сухое лето. Климат субтропической зоны отличается теплой влажной зимой и жарким сухим летом, но на восточном побережье моря в пределах этой зоны и в восточной части южного берега осадков вы-

падает много в течение всего года. Положение моря в сравнительно низких широтах обуславливает в течение года высокую температуру воздуха. Условия общей циркуляции атмосферы над морем определяются изменением интенсивности и местоположения барических центров действия атмосферы [1, 7, 8]. Зимой при распространении отрога Сибирского антициклона на восток Европы на Черном море возникают устойчивые и сильные ветры, приносящие холодный и относительно сухой континентальный воздух умеренных широт. Ослабление отрога Сибирского антициклона приводит к развитию циклонической деятельности на Черном море, обуславливающей повышение температуры воздуха и обильные осадки. Летом Черное море находится под преобладающим влиянием субтропического антициклона. Отдельные области этого антициклона создают длительные периоды слабо ветреной погоды с большим количеством сухих ясных дней.

Водный баланс Чёрного моря складывается из атмосферных осадков (в среднем 230 км^3 в год); материкового стока, который в среднем составляет около 340 км^3 в год, причем около 200 км^3 в год составляет сток Дуная; поступления воды из Азовского моря (в среднем 30 км^3 в год); испарения воды с поверхности моря (около 360 км^3 в год); выноса воды через пролив Босфор (около 210 км^3 в год) [1, 5, 10]. Значительный речной сток в Черное море, который всего на 15 % уступает суммарному стоку в Балтийское море, расположенному в зоне избыточного увлажнения, и весьма ограниченное поступление соленых вод средиземноморского происхождения, обуславливают существенно пониженную соленость глубинных (в среднем 21 ‰) и поверхностных (14–18 ‰) водных масс относительно океанических значений. Относительное постоянство солености вод Черного моря на различных горизонтах, обеспечивается прежде всего выносом значительного объема трансформированных речных вод верхнебосфорским течением, довольно интенсивным испарением с поверхности моря и поступлением солей с нижнебосфорским течением [11, 12].

Горизонтальная циркуляция вод Черного моря складывается под совокупным воздействием ветра, речного стока и компенсационных потоков. В целом, наблюдается устойчивое движение водных масс направленное против часовой стрелки циклонического характера, свойственное морям северного полушария. Однако в Черном море, очевидно в зависимости от очертаний береговой линии, сформировалось два основных центра циклонической циркуляции поверхностных вод, располагающихся к востоку и западу от Крымского полуострова. Третий, менее выраженный центр циклонической циркуляции расположен в северо-западной части моря. Внутри колец циклонических течений прослеживаются круговороты со скоростями течений до 10 см/с в центральных и до 25 см/с в периферийных областях. Между круговоротами наблюдается устойчивое течение от Синопа к Кавказскому побережью со скоростью до 45 см/с . На более глубоких горизонтах (150–500 м) циркуляция в общем сходна с поверхностной. Большие скорости течений здесь наблюдаются в Прибосфорском, Сухумском

районах и у м. Сарыч. Наибольшие средние скорости течений отмечены на горизонте 150 м. На рис. 1 показаны направления основных поверхностных течений Черного моря [10], а условным знаком в виде треугольника обозначены посты многолетних наблюдений за уровнем моря, данные по которым анализируются в настоящей работе. Выбор пунктов наблюдением за уровнем был обусловлен, во-первых, их оптимальным географическим положением, отражающим процессы происходящие в западной, северной и восточной частях моря и во-вторых, наличием в пунктах многолетних периодов наблюдений (60–119 лет). Данные по динамике уровня в выбранных пунктах получены из международной базы данных (Permanent Service for Mean Sea Level) координируемой Национальным океанографическим центром Великобритании (г. Ливерпуль) [13].

Уровень Черного моря претерпевает сезонные и многолетние колебания, находясь в зависимости от динамики компонентов водного баланса. Обычно более высокое стояние уровня наблюдается в мае–июле, а его понижение – в октябре–ноябре, а в некоторых местах в январе–феврале. Разность между летним и зимним положениями уровня равна 30–40 см. Эти колебания создаются в основном за счет неодинакового от сезона к сезону поступления речных вод в море, поэтому они наиболее отчетливо выражены в районах влияния материкового стока [1, 10, 12]. Отметки уровня моря на береговых постах могут находиться также в зависимости от региональных движений земной коры.

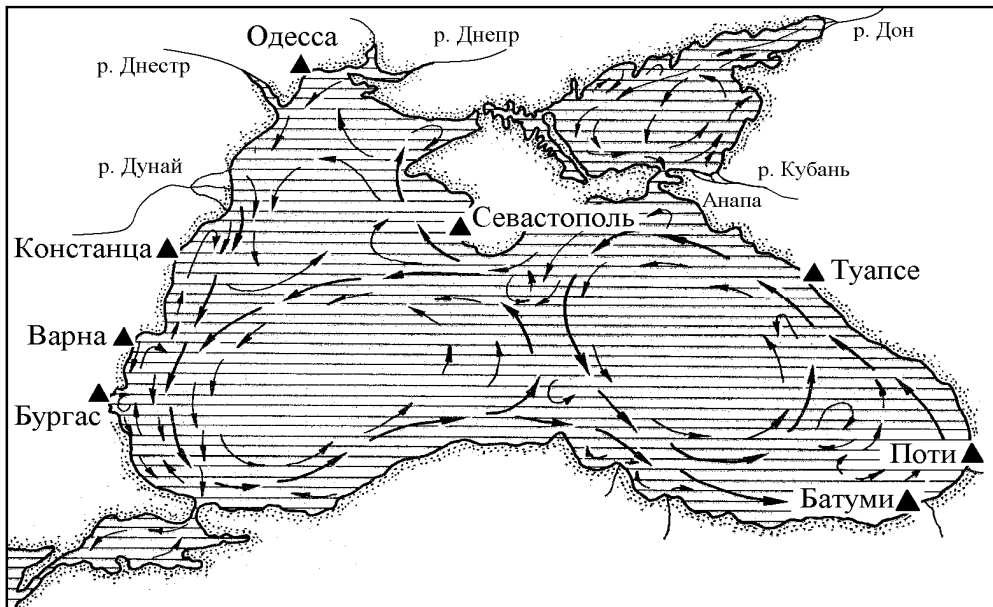


Рис. 1. Схема циркуляции поверхностных вод Черного моря и расположение пунктов наблюдений за уровнем, многолетние данные по которым использованы в настоящей работе

2. Анализ региональных особенностей многолетних колебаний уровня моря

На рис. 2 представлена многолетняя динамика средних годовых значений уровня моря и соответствующие полиномиальные тренды на станциях западного побережья Черного моря. Как видно из рис. 2, *а, б, в* уровень моря на станциях побережья Болгарии имеет в целом общие черты многолетней изменчивости с наличием положительных трендов. Причем наиболее выраженное возрастание уровня наблюдалось в период с 1930-х по конец 1960-х гг. С начала 1970-х годов возрастание уровня моря замедлилось, а в Констанце полиномиальный тренд демонстрирует с этого времени по конец XX в. практически стабилизацию значений уровня. Уровень моря в Одессе (рис. 2, *г*) демонстрирует значительные отличия в своей многолетней изменчивости от районов болгарского побережья. Здесь мы видим, что в первой трети XX века наблюдалась относительная стабилизация уровня, вплоть до незначительной тенденции к его снижению, однако с начала 1940-х годов уровень в северо-западном районе Черного моря начал проявлять достаточно выраженную тенденцию к росту, причем демонстрирующую ускорение. Наиболее высокие темпы увеличения уровня моря в Одессе за рассматриваемый период времени были отмечены с начала 1980-х гг. по вторую половину 1990-х гг.

На рис. 3 представлена многолетняя динамика средних годовых значений уровня моря и соответствующие полиномиальные тренды на станциях восточного побережья Черного моря и Крыма (Севастополь). Видно, что для всех рассматриваемых пунктов наблюдений характерны тенденции к увеличению уровня моря. Однако для Севастополя это проявляется в наименьшей степени, относительно пунктов расположенных вдоль Кавказского побережья. Как видно на рис. 3, *а*, с начала 1980-х гг. уровень моря здесь приближается к квазистационарному. Для уровня моря в Туапсе, за последние 80 лет, наблюдается достаточно равномерное увеличение уровня (рис. 3, *б*), которое за это время составило около 30 см. Уровень моря в Поти также демонстрирует относительно равномерное увеличение уровня (рис. 3, *в*). Здесь на всем анализируемом периоде наблюдений проявляется выраженное преобладание низкочастотных колебаний. Рост уровневой поверхности в Поти с начала XX в. достиг максимальной величины по отношению ко всем рассматриваемым пунктам наблюдений и составил 80 см (!). Столь интенсивный подъем уровня может объясняться, кроме воздействия внешних климатообусловленных факторов, наличием процесса значительного опускания земной коры непосредственно в районе расположения поста наблюдений, о чем свидетельствует и сам характер динамики значений уровня, в котором слабо выражены долгопериодные циклические колебания свойственные метеорологическим и гидрологическим процессам.

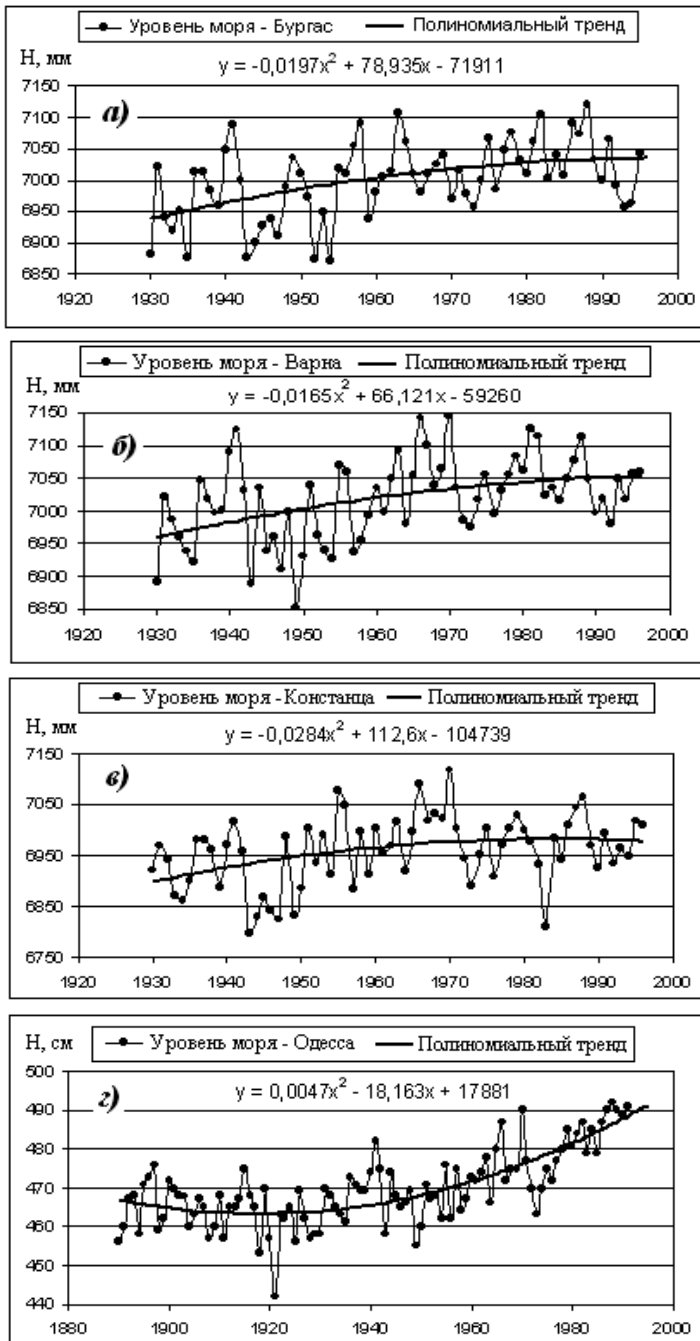


Рис. 2. Многолетняя динамика средних годовых значений уровня моря и полиномиальные тренды на станциях западного побережья Черного моря

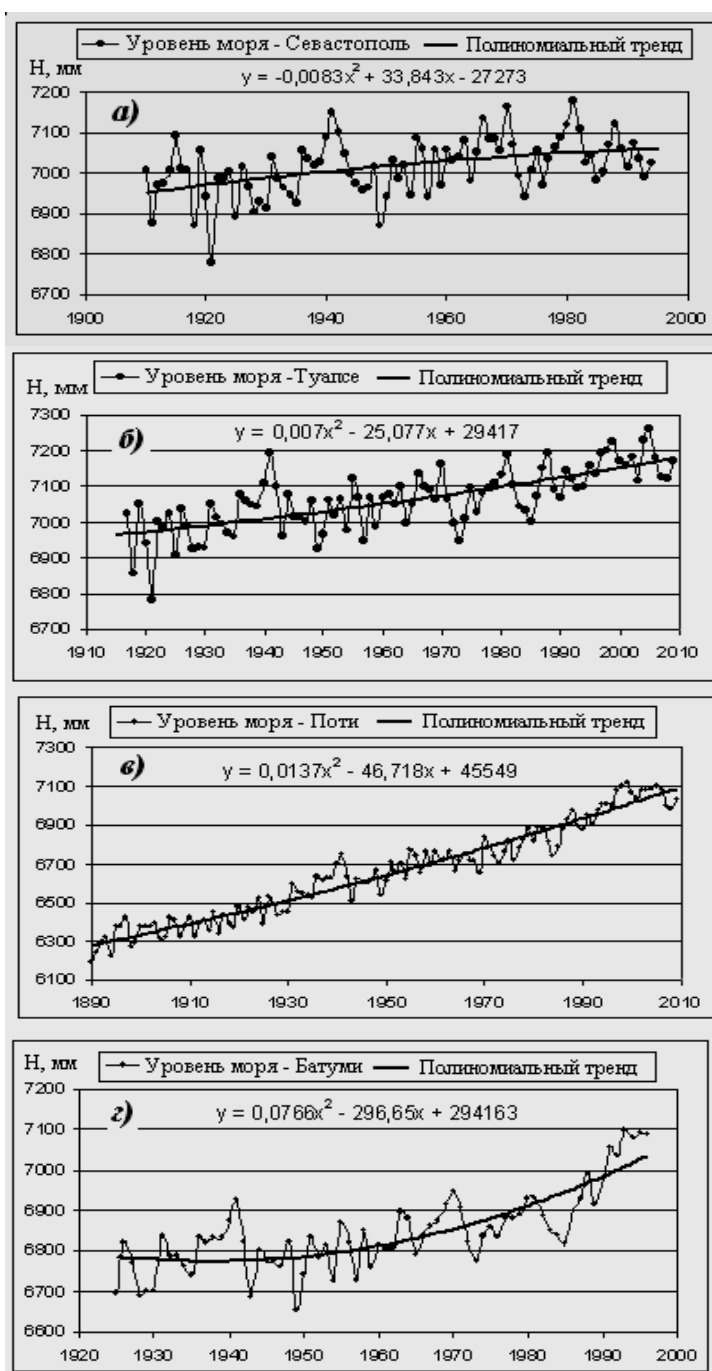


Рис. 3. Многолетняя динамика средних годовых значений уровня моря и полиномиальные тренды на станциях восточного побережья Черного моря и Крыма

Для уточнения региональных тенденций и особенностей многолетней динамики уровня моря на рассматриваемых пунктах наблюдений представляется целесообразным выполнить корреляционный анализ тесноты связи между рядами данных, а также произвести кластерный анализ. В табл. 1 представлена корреляционная матрица, отражающая тесноту взаимных связей между рядами многолетних данных об уровневой поверхности на рассматриваемых пунктах береговых наблюдений.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между рядами многолетних данных, отражающих динамику уровня Черного моря на западном и восточном побережьях.

Жирным шрифтом выделены значения коэффициентов корреляции, превышающие 0,7

Пункты	Бургас	Варна	Констанца	Одесса	Севастополь	Туапсе	Поти	Батуми
Бургас	1,00	0,57	0,52	0,55	0,53	0,55	0,56	0,47
Варна	0,57	1,00	0,75	0,74	0,86	0,85	0,63	0,62
Констанца	0,52	0,75	1,00	0,55	0,71	0,71	0,52	0,51
Одесса	0,55	0,74	0,55	1,00	0,67	0,78	0,84	0,79
Севастополь	0,53	0,86	0,71	0,67	1,00	0,89	0,55	0,57
Туапсе	0,55	0,85	0,71	0,78	0,89	1,00	0,72	0,77
Поти	0,56	0,63	0,52	0,84	0,55	0,72	1,00	0,86
Батуми	0,47	0,62	0,51	0,79	0,57	0,77	0,86	1,00

Как видно из данных табл. 1, все полученные коэффициенты корреляции являются статистически значимыми при уровне обеспеченности $P = 99 \%$, с учетом продолжительности рядов не менее 65 лет. Это свидетельствует о наличии существенной взаимной зависимости динамики уровня моря в различных районах, что исключает выраженное преобладающее влияние какого-то одного фактора или процесса (например, геодинамического) на уровневый режим в конкретном пункте. Наиболее высокая теснота связи (коэффициенты корреляции $r > 0,75$) с другими постами наблюдений характерна преимущественно для значений уровня моря в Варне (Севастополь, Туапсе, Констанца), в Одессе (Поти, Туапсе Батуми) и в Туапсе (Севастополь, Варна, Одесса). Наименьшую тесноту связи колебаний уровня с другими пунктами на Черноморском побережье обнаруживает пункт Бургас.

Выполненный кластерный анализ анализируемых рядов позволяет прийти к следующему (рис. 4). Наблюдается наличие двух основных кластеров различной степени выраженности. Первый из них, наиболее значительный, свойственен для динамики уровня моря в Одессе. По-видимому, его наличие может объясняться высокой степенью зависимости уровневого режима в этом районе от особенностей стока Днепра и Днестра и параметров циркуляции водных масс в северо-восточном районе моря. Второй кластер, связанный с первым, объединяет пункты наблюдений на юго-востоке моря – Потти и Батуми. Другие пункты наблюдений выраженные кластерные группы не образуют.

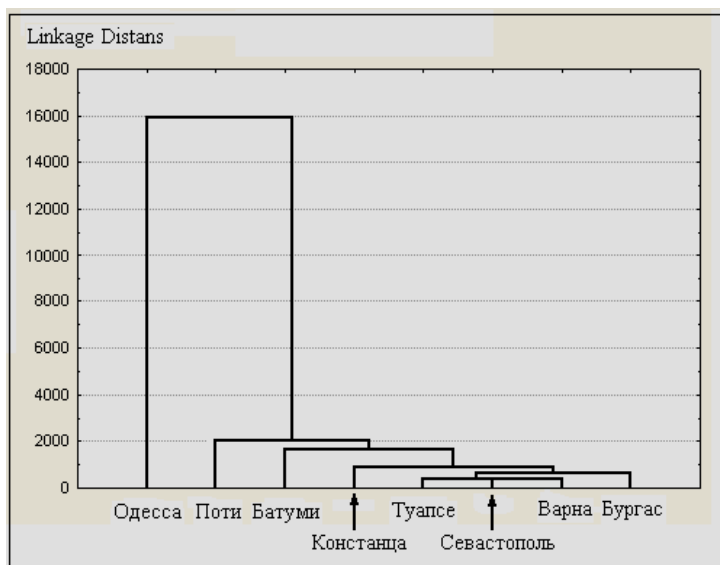


Рис. 4. Результаты кластерного анализа данных о многолетней изменчивости средних годовых значений уровня в различных пунктах на побережье Черного моря

3. Оценка влияния на динамику уровневой поверхности Черного моря крупномасштабных параметров циркуляции атмосферы

Рассмотрим особенности многолетней динамики различных индексов и форм циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой и произведем анализ тесноты связи этих параметров с динамикой уровня Черного моря. Климат Северной Атлантики и прилегающей к ней части Канады и Европы, как известно, в значительной мере зависит от атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, которая представлена системами низкого и высокого давления. Указанные системы называют центрами действия атмосферы, которые формируют также соответствующие вихревые структуры в океане [7]. Интенсивность переносов в атмосфере и в океане подвержена значительным колебаниям во времени вследствие того, что параметры центров действия, т.е. их положение в пространстве и интенсивность, изменяются во времени весьма заметно [6]. За меру интенсивности переносов принимают разность атмосферного давления на станциях, расположенных около климатических центров действия. Эту разность давления, определяемую, как правило, в среднем за зимние месяцы, называют Северо-Атлантическим колебанием (North Atlantic Oscillation – NAO). Индекс атмосферной циркуляции NAO широко используется в мировой практике изучения колебаний климата и их причин. Во «Всемирной программе исследований климата» существует подпрограмма «Изучение изменчивости и предсказуемости климата» (CLIVAR). Среди пяти главных направлений программы CLIVAR одним из ведущих является изучение Северо-Атлантического колебания, которое способно во многом определять особенности динамики климати-

ческих и гидрологических характеристик. Существуют различные варианты индекса NAO. Наиболее часто используется разность давления между Азорскими островами (Понта-Делгада) и Исландией (Акурейри), осредненная за три зимних месяца (декабрь–февраль) – индекс NAO_1 . Представляют его непосредственно в единицах давления (гПа) или в виде отклонения от среднего в долях дисперсии. Несколько реже используют разности давления между пунктами Лиссабон (Португалия) и Стиккисхоульмюр (Исландия), осреднённые за четыре зимних месяца (декабрь–март) – NAO_2 . Кроме того, для характеристики Северо – Атлантического колебания применяют непосредственную разность давлений между центрами действия атмосферы – NAO_3 , а также разности давления на меридиане, между точками с координатами 45° с.ш., 30° з.д. и 60° с.ш., 30° з.д., осреднённые за три зимних месяца (декабрь–евраль) – NAO_4 . Подробно все эти индексы были проанализированы в работе [8]. Было показано, что самым предпочтительным индексом NAO является индекс, который представляет собой первую главную компоненту разложения на естественные ортогональные функции всех четырёх указанных выше индексов. Он наилучшим образом отражает колебания поля давления над Северной Атлантикой, динамику параметров центров действия атмосферы и переносы воздушных масс. Этот индекс обозначен авторами как $NAO_{об}$. Данный индекс показал высокую эффективность при анализе взаимосвязей между климатическими и гидрологическими процессами в регионе Азовского и Балтийского морей [3,] и в Северной Атлантике в целом [8].

Для гидрологических исследований представляет также значительный интерес типизация атмосферных процессов предложенная Г.Я. Вангенгеймом для северной части Восточного полушария и в последующем усовершенствованная им совместно с А.А. Гирсом для западного полушария [2]. Разработанная типизация макросиноптических процессов основана на понятии элементарного синоптического процесса, в течение которого в данном районе сохраняются основные направления воздушных течений и, следовательно, знак барического поля. Все виды атмосферных процессов для восточного полушария были подразделены на три формы атмосферной циркуляции: западная (*W*), восточная (*E*) и меридиональная (*C*).

В табл. 1 представлены результаты корреляционного анализа степени и характера связи между многолетней динамикой обобщенного индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, различных форм циркуляции атмосферы Вангенгейма-Гирса и изменчивостью уровневой поверхности в различных районах побережья Черного моря. Как видно из результатов анализа представленных в данной таблице, динамика уровневой поверхности вдоль западного побережья Черного моря и в Крыму имеет статистически достоверные связи с изменчивостью показателей крупномасштабной циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой. Наиболее тесная связь уровневой поверхности с Северо-Атлантическим колебанием ($NAO_{об}$) свойственна для пунктов Констанца, Варна и Севастополь. Наличие отрицательного характера связи может

быть объяснено тем, что согласно полученным ранее результатам [3, 4, 8], при росте градиентов атмосферного давления между центрами действия атмосферы наблюдается смещение траектории движения циклонов на северо-восток Европы, тогда как в случае ослабления градиента давления преобладающее направление движения циклонических вихрей смещается на юго-восток, в регион Азовского и Черного морей. При низких значениях NAO усиливается циклоническая циркуляция на акваториях данных морей, и возрастают расходы впадающих рек. Эти факторы в конечном итоге способствуют росту уровня. Формы Вангенгейма-Гирса также показывают наличие статистически достоверных связей с уровенной поверхностью Черного моря. Западная форма циркуляции атмосферы (*W*) оказывается в наибольшей степени связана с динамикой уровня в Одессе и Севастополе. Связь также имеет отрицательный характер. Восточная же форма (*E*) проявляет наибольшую тесноту связи положительного характера с уровнем в Одессе, Бургасе и Севастополе. Статистически значимых связей уровенной поверхности Черного моря с меридиональной формой (*C*) не установлено. Графически выявленные связи между процессами представлены рис. 5.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между крупномасштабными показателями атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой и динамикой уровня моря в различных районах Черного моря

Пункт наблюдений за уровнем	Показатели атмосферной циркуляции					
	Индекс NAO1	Индекс NAO3	Индекс NAOоб.	C-форма	E-форма	W-форма
Бургас	-0,31*	-0,34*	-0,32*	-0,25	0,42**	-0,28*
Варна	-0,38*	-0,33*	-0,41**	-0,107	0,31*	-0,34*
Констанца	-0,42**	-0,44**	-0,452**	-0,15	0,28	-0,31*
Одесса	-0,23	-0,22	-0,202	-0,047	0,53**	-0,45**
Севастополь	-0,33*	-0,36**	-0,35*	0,023	0,32**	-0,43**
Туапсе	-0,18	-0,24	-0,201	0,047	0,11	-0,18
Поти	-0,04	-0,08	-0,05	-0,025	0,24	-0,32*
Батуми	-0,05	0,06	-0,07	-0,002	0,175	-0,17

Примечание. Коэффициенты корреляции, отмеченные знаком «**», соответствуют 99 % уровню обеспеченности, знаком «*» – 95 %.



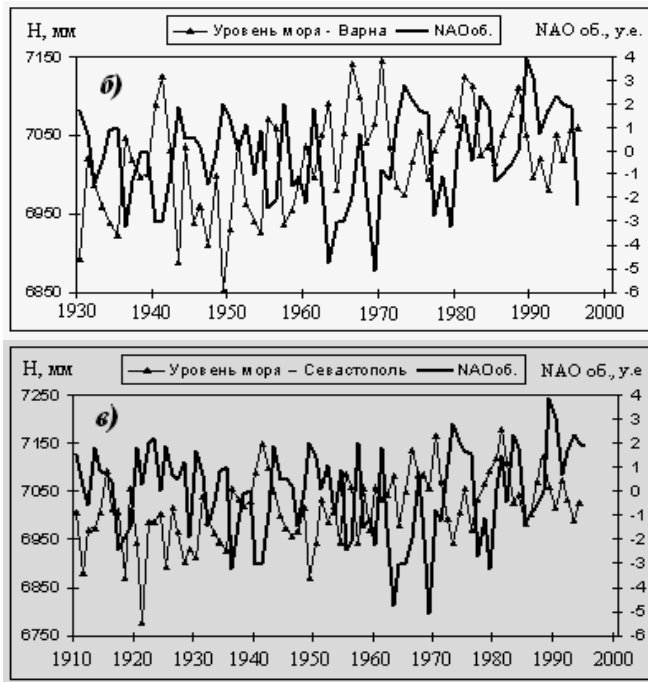


Рис. 5. Сравнение многолетней динамики уровня моря в Констанце (а), Варне (б) и Севастополе (в) с изменчивостью обобщенного индекса Северо-Атлантического колебания (NAOоб.)

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между значениями уровня Черного моря и расходами крупнейших рек, а также поступлением водных масс из Азовского моря

Пункт наблюдений за уровнем	Речной сток		Поступление вод из Азовского моря
	Дунай	Суммарный сток Днепра и Днестра	
Бургас	0,302	0,24	0,025
Варна	0,48**	0,35*	0,034
Констанца	0,42**	0,28	0,018
Одесса	0,55**	0,43**	-0,098
Севастополь	0,502**	0,41**	0,143
Туапсе	0,24	0,16	0,071
Поти	0,18	0,12	-0,12
Батуми	0,071	0,002	-0,08

Примечание. Коэффициенты корреляции, отмеченные знаком «**» соответствуют 99 % уровню обеспеченности, знаком «*» – 95 %.

В табл. 3 представлены коэффициенты корреляции между значениями уровня моря и параметрами речного стока Дуная, Днепра и Днестра, а также поступлением воды из Азовского моря через Керченский пролив. Данные о динамике речного стока в Черное море и притока из Азовского моря получены из [4, 10, 11]. Из представленных результатов видно, что многолетняя динамика уровня на западном побережье Черного моря и побережье южного Крыма нахо-

дится в достаточно тесной зависимости от стока крупнейшей реки региона Дуная. Влияние стока Днепра и Днестра также имеется, но менее значительно. Наибольшая теснота связи динамики расходов рек с уровнем моря наблюдается для пунктов Одесса и Севастополь. Поступление вод из Азовского моря существенного влияния на уровненный режим во всех рассматриваемых пунктах побережья не оказывает. Графической иллюстрацией выявленных связей является рис. 6.

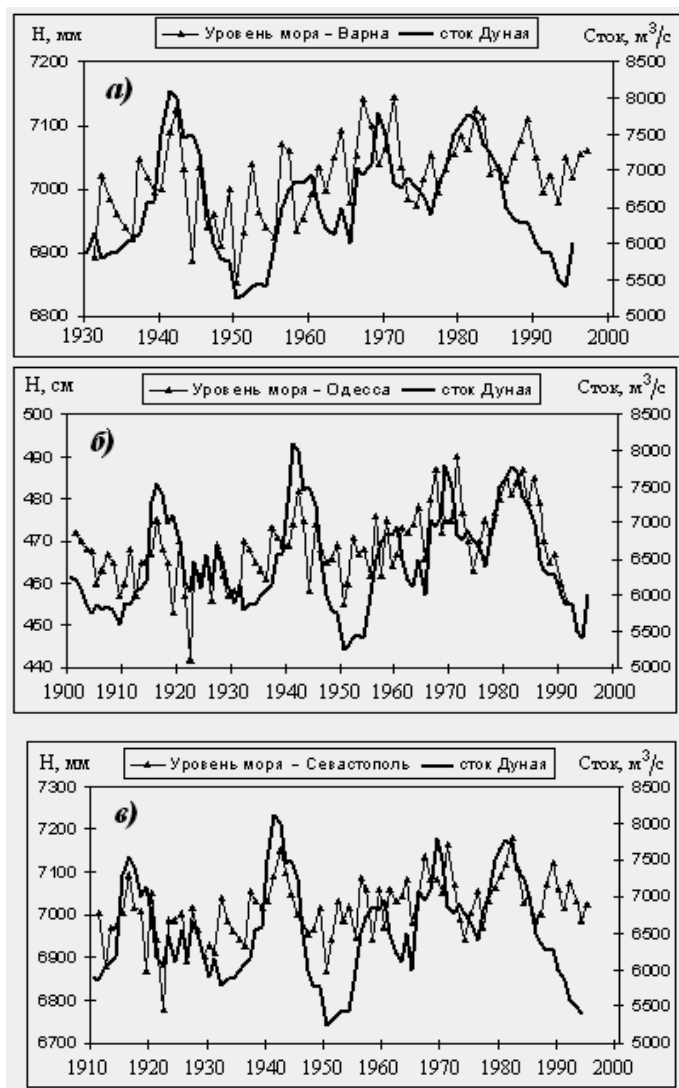


Рис. 6. Сравнение многолетней динамики уровня моря в Варне (а), Одессе (б) и Севастополе (в) с изменчивостью среднего годового стока Дуная. Временной сдвиг значений уровня моря относительно стока составляет 1 год

Таким образом, несмотря на довольно значительную площадь и очень большой объем Черного моря, динамика поступления речных вод в его акваторию принадлежит к числу ведущих факторов, наравне с интенсивностью циркуляции атмосферы, определяющих изменчивость уровенной поверхности в западной и северной части морского побережья. Однако динамика уровня на станциях Кавказского побережья, не обнаруживает значимой связи с этими процессами. Полностью же исключать влияние речного стока и атмосферной циркуляции не правомерно. Устья крупнейших рек бассейна находятся на значительном удалении от этих пунктов (600–1000 км), поэтому сколько-нибудь значимой согласованной ритмики на побережье Туапсе, Поти и Батуми ожидать трудно. Но при этом речные воды, постепенно распространяясь в поверхностных слоях и включаясь в общую структуру течений, способны повлиять на средний уровень Черного моря, что косвенно должно оказывать влияние и на уровень удаленных от непосредственного поступления речных вод районов.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между значениями уровня Черного моря и уровнем на восточном побережье Атлантического океана, а также в Средиземном море

Пункты наблюдений за уровнем в Черном море	Пункты наблюдений на побережье восточной Атлантики и Средиземного моря				
	Брест (Франция)	Лиссабон (Португалия)	Кадиз (Испания)	Венеция (Италия)	Александрополис (Греция)
Бургас	0,55**	0,34*	0,16	0,48*	0,33*
Варна	0,53**	0,38*	0,03	0,66**	0,45**
Констанца	0,45**	0,33*	0,023	0,606**	0,44**
Одесса	0,68**	0,52**	0,51**	0,65**	0,32*
Севастополь	0,55**	0,43**	-0,03	0,54**	0,37*
Туапсе	0,68**	0,34*	0,57**	0,55**	0,707**
Поти	0,62**	0,57**	0,705**	0,72**	0,64**
Батуми	0,78**	0,42**	0,67**	0,53**	0,42*

Примечание. Коэффициенты корреляции, отмеченные знаком «**» соответствуют 99 % уровню обеспеченности, знаком «*» – 95 %.

Для выявления возможных глобальных закономерностей в изменчивости уровенной поверхности представляется целесообразным произвести сравнительный анализ динамики уровня Черного моря с уровнем на восточном побережье Атлантического океана и в Средиземном море. В табл. 4 представлены соответствующие коэффициенты корреляции. Многолетние данные получены из [13]. Заметно, что наиболее тесная связь динамики уровня моря на всех рассматриваемых пунктах черноморского побережья наблюдается с уровнем моря в Бресте и Венеции. Установлено наличие весьма тесной статистически значимой связи между динамикой уровня моря в пунктах Туапсе, Поти, Батуми и изменчивостью уровенного режима в Бресте, Кадизе (западное Средиземноморье) и Венеции. Уровень моря в западной части черноморского побережья (Болгария) обладает в целом несколько меньшей теснотой связи с уровнем на восточном побережье Атлантики и в Средиземноморье. Таким образом, Черное

море, несмотря на свою значительную изолированность от Атлантического океана и Средиземного моря, в ходе многолетней динамики своего уровня имеет много общих черт с изменчивостью уровенного режима соседствующих крупных акваторий. Такая ситуация может быть объяснена едиными крупномасштабными причинами, от которых зависит уровенная поверхность восточной части Атлантического океана и внутренних морей, причем их влияние проявляется одновременно, без каких-либо временных сдвигов.

На рис. 7 графически представлена степень связи между динамикой уровня моря в пункте Брест и Одесса, Батуми, а также Туапсе и Венеция.

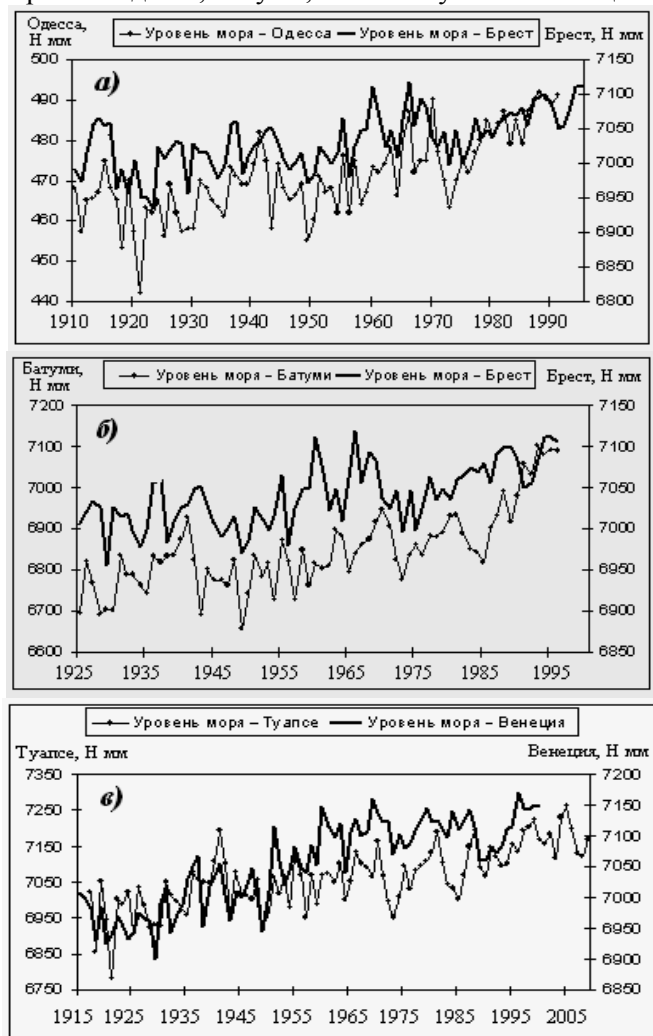


Рис. 7. Сравнение многолетней динамики средних годовых значений уровня Атлантического океана на побережье Франции (Брест) со средними годовыми значениями уровня на побережье Черного моря в пунктах Одесса (а), Батуми (б) и уровня моря в Туапсе с уровнем моря в Венеции (в)

Заклучение

1. Многолетняя динамика средних годовых значений уровня моря на станциях болгарского побережья Черного моря имеет в целом общие черты многолетней изменчивости с наличием положительных трендов. Наиболее выраженное возрастание уровня наблюдалось в период с 1930-х по конец 1960-х гг. С начала 1970-х гг. возрастание уровня моря замедлилось, а в Констанце полиномиальный тренд демонстрирует с этого времени по конец XX в. практически стабилизацию значений уровня. Уровень моря в Одессе демонстрирует значительные отличия в своей многолетней изменчивости от районов болгарского побережья. Здесь мы видим, что в первой трети XX в. наблюдалась относительная стабилизация уровня, вплоть до незначительной тенденции к его снижению, однако с начала 1940-х гг. уровень в северо-западном районе Черного моря начал проявлять достаточно выраженную тенденцию к росту, причем демонстрирующем ускорение. Наиболее высокие темпы увеличения уровня моря в Одессе за рассматриваемый период времени были отмечены с начала 1980-х гг. по вторую половину 1990-х гг.

2. Многолетняя динамика средних годовых значений уровня моря и соответствующие полиномиальные тренды на станциях восточного побережья Черного моря и южного Крыма также демонстрируют тенденции к увеличению уровня моря. Для Севастополя это проявляется в наименьшей степени, относительно пунктов расположенных вдоль Кавказского побережья. Для уровня моря в Туапсе, за последние 80 лет, наблюдается достаточно равномерное увеличение уровня, которое за это время составило около 30 см. Уровень моря в Поти показывает самое равномерное увеличение уровня с выраженным преобладанием низкочастотных колебаний. Рост уровенной поверхности в Поти с начала XX в. достиг максимальной величины по отношению ко всем рассматриваемым пунктам наблюдений и составил 80 см.

2. Установлено наличие существенной взаимной зависимости положительного характера динамики уровня моря в различных районах, что исключает выраженное преобладающее влияние какого-то одного фактора или процесса (например, геодинамического) на уровенный режим в конкретном пункте. Наиболее высокая теснота связи (коэффициенты корреляции $r > 0.75$) с другими постами наблюдений характерна преимущественно для значений уровня моря в Варне (Севастополь, Туапсе, Констанца), в Одессе (Поти, Туапсе Батуми) и в Туапсе (Севастополь, Варна, Одесса).

3. Анализ связей динамики уровенной поверхности Черного моря с Северо-атлантическим колебанием показал, что для пунктов наблюдений на западном побережье Черного моря и в Крыму имеются статистически достоверные связи с изменчивостью показателей крупномасштабной циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой. Наиболее тесная связь уровенной поверхности с Северо-Атлантическим колебанием (NAOоб.) свойственна для пунктов Констанца, Варна и Севастополь. Формы циркуляции атмосферы Вангенгейма-Гир-

са также показывают наличие статистически достоверных связей с уровенной поверхностью Черного моря. Западная форма циркуляции атмосферы (*W*) оказывается в наибольшей степени связана с динамикой уровня в Одессе и Севастополе. Восточная же форма (*E*) проявляет наибольшую тесноту связи положительного характера с уровнем в Одессе, Бургасе и Севастополе. Статистически значимых связей уровенной поверхности Черного моря с меридиональной формой (*S*) не установлено. Пункты наблюдений за уровнем, расположенные на Кавказском побережье, за исключением Поти, непосредственной связи с динамикой показателей атмосферной циркуляции не обнаруживают.

4. Многолетняя динамика уровня на западном побережье Черного моря и побережье южного Крыма находится в достаточно тесной зависимости также от стока крупнейшей реки региона Дуная. Влияние стока Днепра и Днестра также имеется, но менее значительно. Наибольшая теснота связи динамики расходов рек с уровнем моря наблюдается для пунктов Одесса и Севастополь. Поступление вод из Азовского моря существенного влияния на уровенный режим во всех рассматриваемых пунктах побережья не оказывает. Пункты наблюдений за уровнем, расположенные на Кавказском побережье непосредственной связи с динамикой речного стока не обнаруживают. Однако нельзя исключать косвенное влияние речного стока на уровень моря в данных районах, т.к. речные воды, постепенно распространяясь в поверхностных слоях очевидно способны повлиять на средний уровень Черного моря.

5. Сравнительный анализ динамики уровня Черного моря с уровнем на восточном побережье Атлантического океана и в Средиземном море, показал, что наиболее тесная связь динамики уровня моря на всех рассматриваемых пунктах черноморского побережья наблюдается с уровнем моря в Бресте и Венеции. Установлено наличие весьма тесной статистически значимой связи между динамикой уровня моря в пунктах Туапсе, Поти, Батуми и изменчивостью уровенного режима в Бресте, Кадизе (западное Средиземноморье) и Венеции. Существуют единые крупномасштабные причины, от влияния которых зависит уровенная поверхность восточной части Атлантического океана и внутренних морей, причем их влияние проявляется одномоментно. К таковым может относиться изменчивость интенсивности крупномасштабной атмосферной циркуляции над Северо-Атлантическим регионом и вызываемые ею прямые и косвенные (через речной ток и средний уровень моря) воздействия на уровенный режим побережий.

Литература

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. IV. Черное море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 429 с.
2. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 280 с.
3. Дроздов В.В. Смирнов Н.П. Колебания климата и донные рыбы Балтийского моря. – СПб.: РГГМУ, 2008. – 249 с.
4. Дроздов В.В. Особенности многолетней динамики экосистемы Азовского моря под влиянием климатических и антропогенных факторов // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 15, с. 155-176.

5. *Коников Е.Г., Лиходеева О.Г.* Глобальные и региональные факторы колебаний уровня Черного моря за последние два столетия и предсказание его изменений как основа геодинамической модели береговой зоны // Геология и полезные ископаемые Мирового океана, 2009, № 4, с. 124-133.
6. *Латто С.С., Рева Ю.А.* Сравнительный анализ долгопериодной изменчивости уровней Черного и Каспийского морей // Метеорология и гидрология, 1997, № 12, с. 63-75.
7. *Мартынова Т.В.* О колебаниях положения и интенсивности центров действия атмосферы // Метеорология и гидрология, 1990, № 4, с. 50-55.
8. *Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Кочанов С.Ю.* Северо-Атлантическое колебание и климат. – СПб.: РГГМУ, 1998. – 122 с.
9. Рева Ю.А. Межгодовые колебания уровня Черного моря // Океанология, 1997, т. 37, № 2, с. 211-219.
10. Черное море. Сборник / А. Вылканов, Х. Данов, Х. Маринов и др. / Пер. с болг. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 408 с.
11. *Korasev A.N., Arkhipkin V.S. and Surcova G.V.* Hydrometeorological conditions, in: The Black Sea Environment, Kostianov A. and Kosarev A. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, vol. 5Q, 2008. – pp. 135-158.
12. *Mikhailov V.N., Mikhailova M.V.* River mounts. in: The Black Sea Environment, Kostianov A. and Kosarev A. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, vol. 5Q, 2008. – pp. 91-133.
13. Permanent Service for Mean Sea Level. Режим доступа: <http://www.pol.ac.uk/psmsl>.
14. *Vigo I., Garcia D., and Chao B.F.* Change of sea level trend in the Mediterranean and Black seas, J. Marine Res., vol. 63, No. 6, 2005. – pp. 1085-1100.