

ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ ЧЕРНОГО МОРЯ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДВА СТОЛЕТИЯ И ПРЕДСКАЗАНИЕ ЕГО ИЗМЕНЕНИЙ КАК ОСНОВА ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ

С помощью современных методов статистической обработки исходных данных авторами доказывається, что изменения климатических и гидрологических параметров глобального и регионального масштабов непосредственно или косвенно отражаются на режиме уровня моря. На основе выявленных закономерностей создан сценарий изменений уровня моря на будущее.

Введение. Актуальность проблемы, связанной с изменчивостью режима уровня Черного моря, обусловлена задачами хозяйственного освоения береговой зоны и связана с рядом проблем экономического и экологического характера. В специальной литературе можно найти многочисленные доказательства, различного уровня обоснованности, о непосредственном или косвенном влиянии урoвненного режима на процессы формирования берегов и литодинамику прибрежного шельфа.

Большинство исследователей, занимающихся изучением заявленной проблемы (изучение режима уровня и факторов, его определяющих), высказывает точку зрения об эвстатическом характере изменения уровня моря за период инструментальных наблюдений. Значительная роль при этом отводится пресному притоку вод в Черное море. Ведущее место в пресном притоке занимает сток рек, расположенных в северо-западной части моря – Дуная, Днепра, Днестра.

Период инструментальных наблюдений за урoвненным режимом по одному из самых продолжительных рядов наблюдений по прибрежным гидрометеостанциям (ГМС) от Дуная до Днепра (по ГМС «Одесса») насчитывает порядка 150 лет (наблюдения проводятся с 1860 г.). Ряды наблюдений по некоторым гидрометеорологическим и астрофизическим параметрам для северного полушария в целом, используемые в данной работе и почерпнутые из литературных источников и интернет-ресурсов, имеют продолжительность около 200 лет. Это дало нам возможность выделить долгопериодическую составляющую изменчивости этих параметров во времени и таким образом решить одну из основных задач.

Задачи наших исследований: (1) изучение изменений климатических параметров (температура, атмосферные осадки, давление и другие) за период инструментальных наблюдений; (2) определение степени влияния этих параметров на сток рек и изменение уровня Черного моря с помощью мето-

да кросскорреляции; (3) изучение периодической структуры временных рядов с помощью тренд анализа, спектрального и вейвлет-анализа; (4) анализ причин изменения уровня Мирового океана и Черного моря и разработка сценария изменения последнего в будущем.

Результаты исследований и их обсуждение. По данным Л.А. Фомичевой [15] коэффициент корреляции между стоком рек и уровнем моря для периода 1923–1977 гг. составляет 0,74, по Ю.Н. Горячкину, В.А.Иванову [7] 0,70 (1923–1998 гг.). Ведущее значение в стоке рек занимает сток Дуная. По данным названных авторов коэффициенты корреляции среднегодовых значений уровня моря и стока Дуная составляют соответственно 0,76 и 0,6.

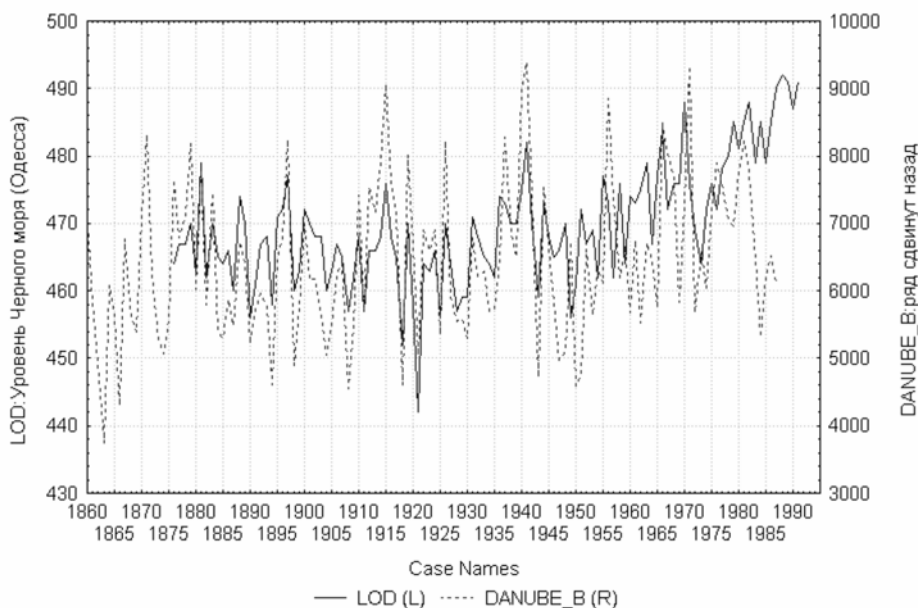


Рис. 1. Сопоставление изменений среднегодовых значений уровня Черного моря (Одесса) и стока Дуная

Как следует из рис. 1, изменение стока Дуная и уровня моря (Одесса) происходит в значительной степени согласованно. Анализ взаимных спектров рассматриваемых рядов, выполненный методами спектрального анализа, показал, что коэффициент когерентности (coherence) принимает максимальные значения для периодов 2–5, 11–14, 22 и 28 лет, причем максимальные значения этих коэффициентов (0,94 и 0,84) соответствуют периодам 2,2 и 5 лет. Полный спектр статистически значимых периодов в изменении изучаемых параметров представлен на рис. 2.

Сток рек в значительной степени определяется характером атмосферных процессов и их внутривековыми и многолетними изменениями. Периоды повышенной и пониженной повторяемости, образуемые различными типовыми процессами, накладываясь друг на друга, создают суммарный климатический эффект в виде периодов потеплений и похолоданий, повышения и снижения количества осадков [1]. Сток Дуная, Днепра и Днестра, наиболее крупных рек в северо-западной части моря, по-разному проявляет себя в названных периодах (рис. 3 А). Эти различия связаны как с разной межширот-

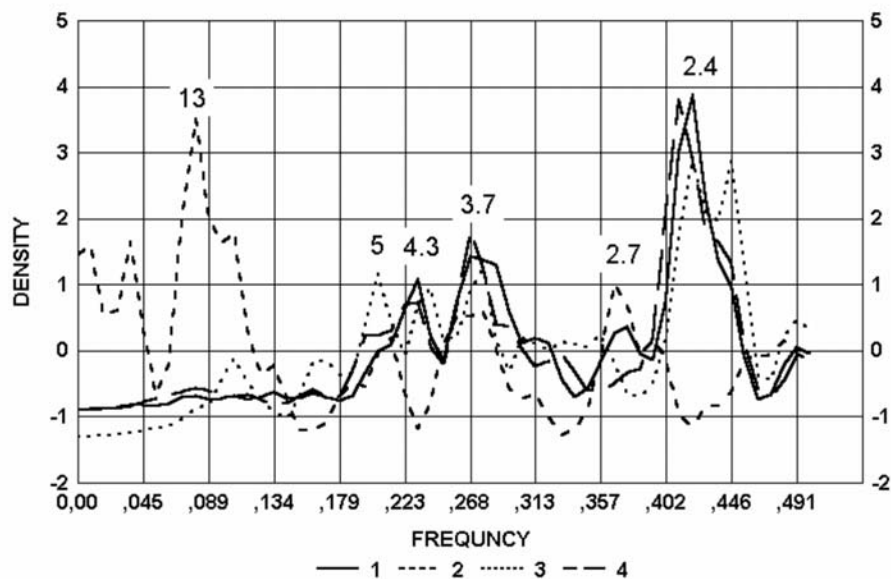


Рис. 2. Корреляционная спектрограмма параметров: 1 – среднегодовые значения уровня моря; 2 – атмосферные осадки; 3 – жидкий сток р.Днестр; 4 – жидкий сток р.Дунай

ной протяженностью бассейнов рек, так и их долготным расположением. Обращает на себя внимание, что в эпохи с преобладающим типом западной циркуляции сток сравниваемых рек изменяется практически синхронно, в эпохи с меридиональной циркуляцией наблюдается фазовое смещение колебаний стока Дуная относительно стока Днестра и Днепра. В целом многолетние колебания годового стока (рис. 3 Б) определяются изменением климатических условий (температура, осадки), которые в свою очередь обусловлены атмосферной циркуляцией.

Как было показано ранее [20] изменение уровня моря в значительной степени определяется сменой циркуляционных процессов (эпох) и связанных с этим изменением климатических (приземная температура воздуха, количество атмосферных осадков, атмосферное давление), гидрологических (расход воды в реках) гидродинамических (штормовая активность) и др. факторов. Нами доказано [20], что в эпохи с преобладанием западной циркуляции (W+C и W) наблюдаются колебания уровня вокруг некоторого среднего значения с небольшим отрицательным трендом (угловой коэффициент линейного тренда $b_{1+2} = -0.30$, уровень значимости $p_{1+2} = 0.07$). В эпохи форм восточной циркуляции и восточной в сочетании с меридиональной (E и E+C) уровень повышается (соответственно $b_3 = 0.64$ $p_3 < 0.05$ и $b_5 = 0.64$ $p_5 < 0.05$). В эпоху формы С наблюдаются колебания вокруг среднего значения с незначительным спадом ($b_4 = -0.48$, $p_4 = 0.19$). Практически такие же закономерности присущи и колебаниям уровня Средиземного моря. Для эпохи западной циркуляции характерны колебания уровня около некоторого среднего положения, для эпох восточной и меридиональной циркуляции характерна тенденция повышения уровня Средиземного моря [6].

Проведенный спектральный анализ амплитуды W (западная циркуляция) и уровня моря показал наличие высоких коэффициентов когерент-

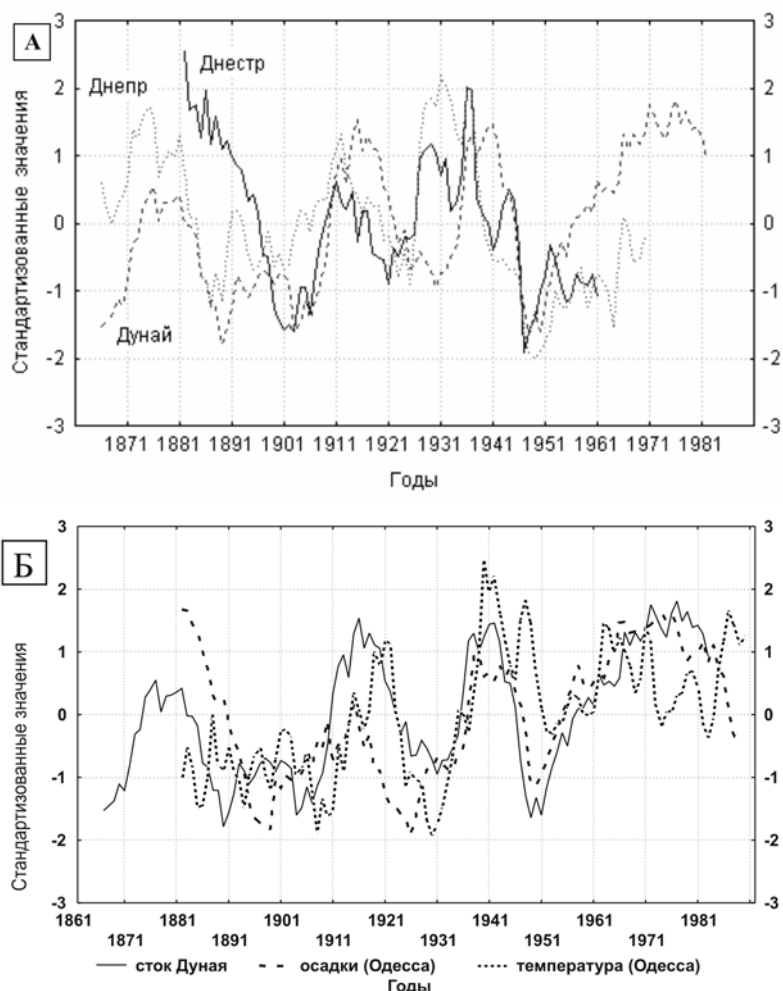


Рис. 3. А - Среднегодовые значения стока Днепра, Днестра, Дуная. Б – Среднегодовые значения стока Дуная, годового количества осадков и температуры воздуха (Одесса)
 Выполнено 11-летнее сглаживание и стандартизация рядов

ности долгопериодических компонент сравниваемых рядов, действующих в противофазе (рис. 4).

Проведенные исследования показали, что вековые изменения уровня Черного моря находятся в тесной связи с изменениями интенсивности общей циркуляции атмосферы (в данном случае под усилением циркуляции понимается усиление западного переноса воздуха и, следовательно, ослабление междуширотного обмена). Повторяемость процессов циркуляции западного типа характеризует интенсивность общей циркуляции атмосферы. Таким образом, в периоды усиления западной циркуляции происходит снижение уровня Черного моря, в периоды ослабления – повышение.

Как уже отмечалось в [20], характерной чертой изменения среднегодовых значений уровня в 1876–1991 гг. явился произошедший в 20-х годах прошлого века переход от его снижения к повышению. В среднем (по линейному тренду) уровень с 1876 по 1921 г. снизился на 6.5см, с 1921 по 1991г. повысился на 26см. Колебания уровня в первый период достигали 37 см, во

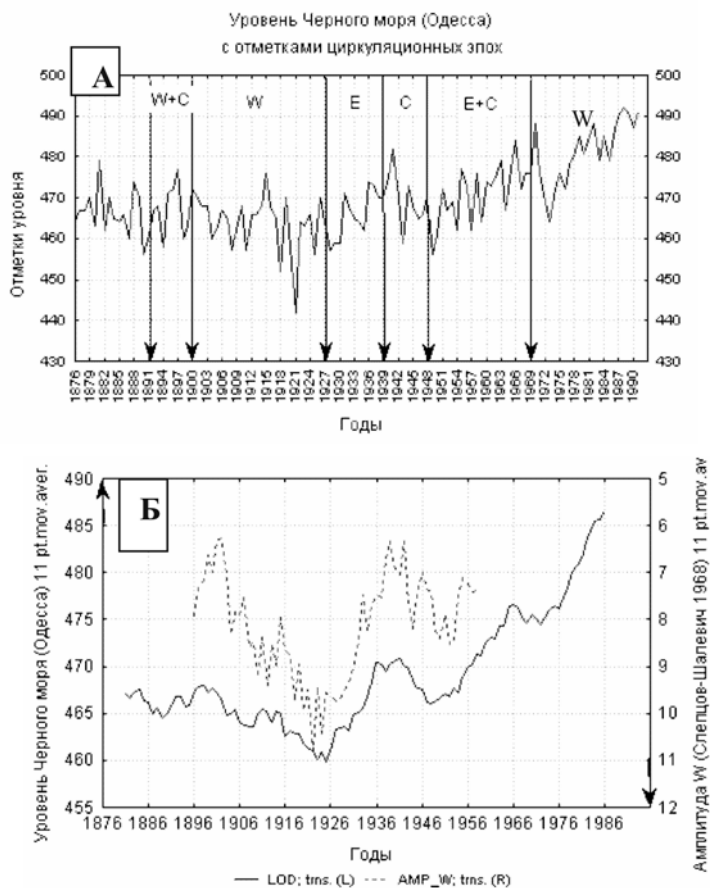


Рис. 4. А – Изменение среднегодовых значений уровня Черного моря с нанесенными границами циркуляционных эпох. Б – Сопоставление амплитуды W (западной циркуляции) и уровня моря (выполнено 11-летнее сглаживание)

второй – 50 см. Скорость изменения уровня в 1876-1921 гг. составила 0.14 см/год, в 1921-1991 гг. - 0.37 см/год. По оценкам Л.А. Фомичевой [15] и Ю. А. Ревы [14] скорость изменения уровня равнялась соответственно 0.131 см/год (1936-1977 гг.) и $0.18 \pm 0,07$ см/год (1925-1985 гг.). По данным Ю.Н. - Горячкина и В.А. Иванова [7] в 1946-1985 гг. в среднем для Черного моря она составляла 0,27 см/год, а повышение уровня за счет эвстатических факторов было определено величиной 0,17 см/год.

Следует отметить, что в настоящее время нет единой точки зрения на природу положительного тренда в изменении уровня Черного моря, получившего свое начало в 20-х годах. Так, часть исследователей [14, 18, 17] связывает положительный тренд в изменении уровня Черного моря с общим повышением уровня Мирового океана. По мнению других [11] короткопериодные флуктуации в Черном море обусловлены изменениями составляющих водного баланса (главным образом, стока рек), а тренд – долгопериодными изменениями уровня Атлантического океана. По мнению Э.Н. Альтмана [2] доля и значение отдельных составляющих в общем балансе моря существенно разнятся. В приходной части наиболее значительную роль играет речной сток. Изменчивость его велика и, в конечном счете

(через пресноводную часть баланса), сказывается на колебаниях уровня и величинах водообмена через пролив Босфор. В расходной части баланса по объему наибольшими составляющими являются испарение и отток вод через Босфор. Однако первая из них имеет небольшую изменчивость и потому не может играть существенную роль в колебаниях режима моря. Общая тенденция к росту среднего уровня Мирового океана обуславливает некоторое увеличение объема моря. Однако эта величина настолько мала по сравнению с общим объемом моря (менее 0.04%), что практически баланс Черного моря в целом в настоящее время можно считать установившимся.

В целом мы придерживаемся мнения, выраженного в [7]: «...многолетние колебания уровня в значительной степени определяются колебаниями баланса пресных вод, а тренд обусловлен как общим повышением уровня Мирового океана, так и в определенной степени положительными тенденциями изменения баланса пресных вод».

Изменение уровня Мирового океана и стока рек в Черное море являются откликом на действие факторов глобального порядка (глобальных атмосферных процессов). Как было отмечено А.Б. Полонским [13], долгопериодические колебания стока рек (Дуная, Днепра) обусловлены низкочастотной изменчивостью в системе океан-материк-атмосфера в Атлантическом и Индо-Тихоокеанском регионах. По мнению автора более 40% дисперсии стока р. Дунай в области периодов 10-30 лет объясняются совместным влиянием Североатлантического и Тихоокеанского десятилетнего колебания. Проведенные нами исследования указывают на сходство тенденций изменения уровня в Бресте (побережье Франции, Атлантический океан) и стока Дуная (рис. 5), что также свидетельствует в пользу приведенных выше положений.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод об обусловленности выделенного тренда климатическими факторами планетарного мас-

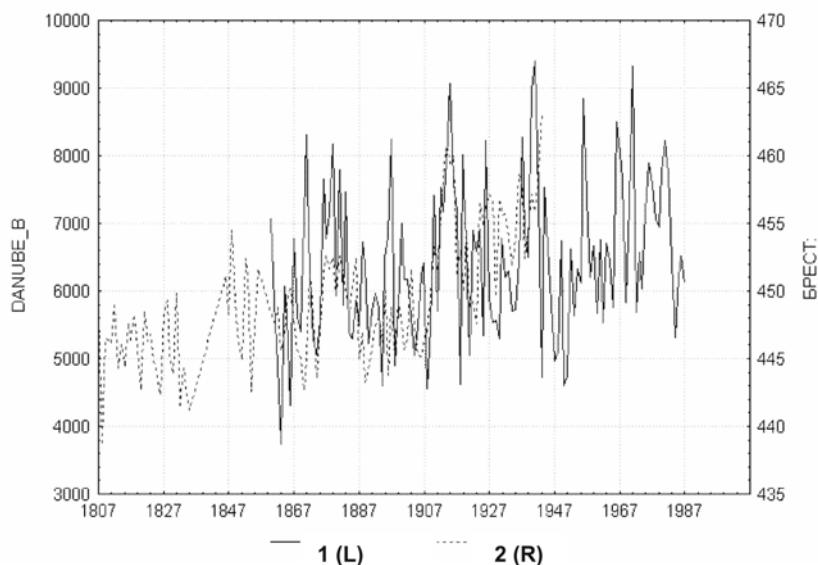


Рис. 5. Изменение среднегодовых значений уровня Атлантического океана в г. Брест (2) и стока Дуная (1)

штаба (глобальное потепление, увлажненность климата). Естественные механизмы, влияющие на климат, условно можно разбить на три группы [4]:

- астрономические факторы, обусловленные процессами, происходящими на Солнце и в солнечной системе в целом, а также изменения геометрии земной орбиты;

- геофизические факторы, связанные со свойствами Земли как планеты;

- циркуляционные факторы, связанные с процессами самой атмосферы при взаимодействии с другими компонентами климатической системы, и, прежде всего, с циркуляцией атмосферы (и в меньшей мере – с циркуляцией в океане). На циркуляционные факторы в значительной мере влияют как астрономические, так и геофизические факторы изменения климата.

Сопоставление уровня моря с вековым изменением солнечной активности показало, что они изменяются в значительной степени согласованно. В то же время менее продолжительные колебания имеют противоположную направленность (рис. 6).

Найденные закономерности могут быть положены в основу долгосрочного прогноза изменения уровня моря. Выполненные к настоящему времени прогнозы изменения уровней Мирового океана и Черного моря в значительной степени базируются на их связи с изменением температуры приземного воздуха планеты. При этом, как нам представляется, не учитывается нелинейный характер этой связи.

Так М.И. Будыко [5] была установлена корреляционная зависимость между уровнем Мирового океана и аномалиями температуры воздуха, относящаяся к зоне 17–18° с. ш. Согласно этой зависимости увеличение Δt_e на 0,5° С приводит к повышению уровня океана на 50 см. В силу найденной зависимости повышению температуры приземного воздуха на Земле, составившему в 1975-2000 гг. примерно 0,3° С, должно было соответствовать повышение уровня на 30 см. В то время как оно составило не более 10 см, а по данным Р.К. Клиге с соавторами [10] – всего 5 см.

По данным Г.П. Калинина с соавторами [8] потепление приводит к изменению уровня Мирового океана на 1.5–2 мм/год. При этом автор выде-

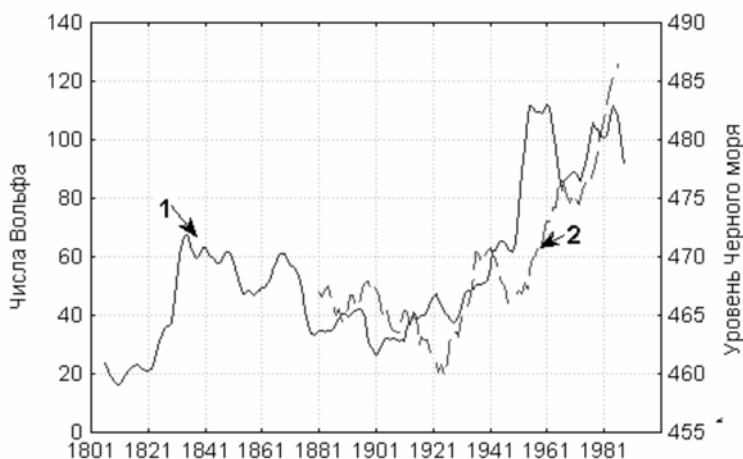


Рис. 6. Сопоставление рядов: 1 – солнечной активности, 2 – отметок уровня (11-летнее сглаживание.)

ляет два периода. Первый – с 1900 по 1923 г., когда уровень Мирового океана, имея значительные колебания от года к году, практически не испытывал общего подъема. Второй период – 1924 – 1964 гг. После 1923 г. началось повышение уровня океана, которое к 1958 г. составило около 70 мм. В эти годы средняя скорость подъема равнялась 2,3 мм в год. Наиболее интенсивное повышение уровня наблюдалось в Северном Ледовитом океане – 2,6 мм/год, тогда как в Атлантическом – 1,9 мм/год, в Тихом – 0,9 мм/год, в Индийском – 0,6 мм/год. При этом ход уровня Северного Ледовитого океана опережает ход уровня Атлантического океана на 3 года, Индийского – на 6 лет, Тихого – на 8 лет. По мнению Г. П. Калинина и Р.К. Клиге [9] в среднем современный темп поднятия уровня океана соответствует установившемуся около 6 тыс. лет назад, в конце последней послеледниковой трансгрессии.

Ю.А Павлидис [12] в своих расчетах для Северной Атлантики и бассейна Северного Ледовитого океана при обосновании прогноза повышения уровня основывается на соотношении 25 см за 50 лет. Анализируя последний двухтысячелетний цикл повышения уровня в северной половине Атлантического океана, автор предполагает очередную остановку трансгрессии в XXII веке. Как пишет Ю.А Павлидис: «Только к этому времени уровень может повыситься на 1 м по отношению к современному. По-видимому, на этой отметке произойдет некоторая стабилизация уровня, как это происходило в XVI и XIX вв. ».

По мнению других исследователей, масштаб повышения уровня океана оказывается почти на порядок меньше. Так, по расчетам А.Л. Яншина [16], реальная скорость подъема уровня Мирового океана равна 0,7 мм/год. В докладах японских ученых на XXIX сессии Международного геологического конгресса (Киото, 1991) было констатировано повышение уровня океана со скоростью в среднем 0,8 мм/год, т.е. до 8 см в столетие [3].

Сценарии изменения уровня Черного моря рассмотрены в [7]. В приведенной в работе ссылке на [19] на основе варианта, включающего прямой эффект выбросов сульфатных аэрозолей, даны модельные оценки среднего глобального подъема уровня моря в период с 1990 по 2100 г. в пределах 0,11 – 0,77 м (с учетом лишь эвстатических факторов). Сами авторы, Ю.Н. Горячкин и В.А. Иванов, отмечают, что при существующих темпах повышения уровня абсолютный уровень Черного моря (с учетом движений земной коры) возрастет на 15 см к 2050 г. и на 30 см к 2100 г. При неблагоприятном сценарии уровень Черного моря может возрасти на 40 см к 2050 г. и на 1 м – к 2100 г.

Заключение. Выполненное нами на основе использования метода экспоненциального сглаживания (Exponential Smoothing) моделирование уровня (Одесса) позволяет предположить снижение темпа роста уровней в период с 1992 по 2016 г., хотя по-прежнему будет наблюдаться положительная динамика (рис. 7).

Минимальные отметки уровня в этот период могут достичь 480 см, максимальные – 498 см. Средняя высота уровня составит 486 см. Средняя абсолютная величина ошибки по моделируемому ряду за период 1876–1991 гг. равна 4,5 см.

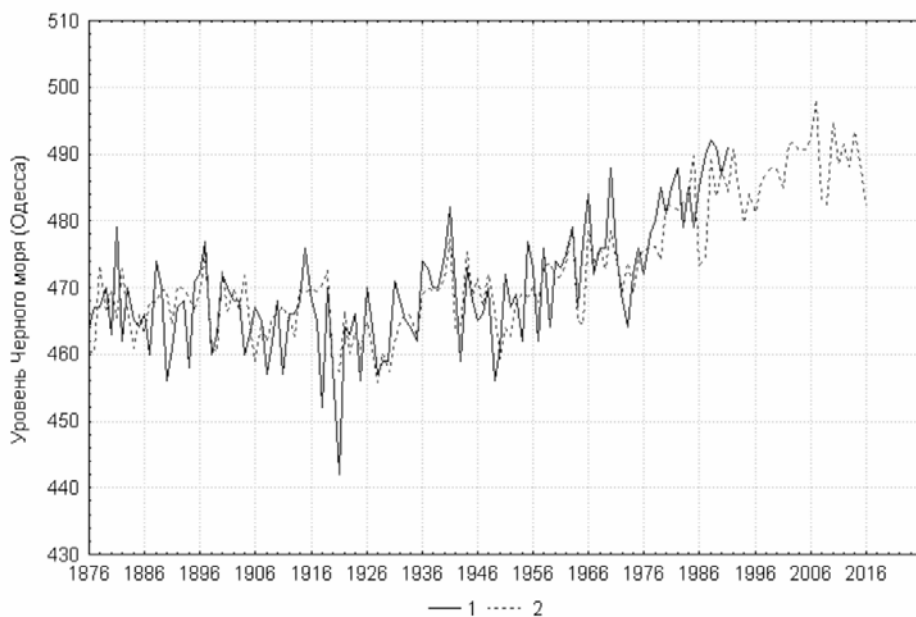


Рис. 7. Наблюдаемые (1) и прогнозируемые (2) значения уровня моря

При построении модели учитывались статистические свойства самого ряда и не использовались какие-либо факторы, влияющие на уровенный режим. В дальнейшем авторы предполагают построение моделей, позволяющих выполнить долгосрочный прогноз уровенного режима с учетом факторов, определяющих динамику его развития.

1. Акименко Т. А., Евстигнеев В. М. Реакция стока рек Верхне-Волжского бассейна на изменения климата в последней четверти XX века // Вестн. Моск. Ун-та, сер.5, География. – №5. – 2002. – С. 50-55.
2. Альтман Э. Н. Основные черты гидрометеорологического режима и гидрологии бассейна. В кн. Практическая экология морских регионов. Черное море. К.: Наукова думка. – 1990. – С. 11-33.
3. Бринкен А., Селиверстов Ю. И. Геоморфология морских побережий и глобальные изменения климата // Изв. РГО, вып.1, 1998.
4. Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М.: Мысль. – 1988. – 522 с. 13.
5. Будыко М. И. Климат и жизнь, Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 250 с.
6. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеорологическое издательство – 1971. – 279 с.
7. Горячкин Ю. Н., Иванов В. А. Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее. 2006.
8. Калинин Г. П., Бреслав Е. И., Клиге Р. К. Некоторые особенности современных изменений уровня океана // Колебания уровня Мирового океана и вопросы морской геоморфологии. М.: Наука. – 1975. – С. 5-12
9. Калинин Г. П. Клиге Р. К. К вопросу о вековых колебаниях уровня мирового океана. В сб. Формирование ресурсов вод суши. М.: Наука, 1972. – С. 21-33.
10. Клиге Р. К., Данилов И. Д., Конищев В. Н. История гидросферы. М.: Научный мир, 1998. – 568 с.

11. Лаппо С. С., Рева Ю. А. Сравнительный анализ долгопериодической изменчивости уровней Черного и Каспийского морей // Метеорология и гидрология, 1997. – №12. – С. 63-75
12. Павлидис Ю. А. Возможные изменения уровня океана в начале третьего тысячелетия // Океанология. 2003. – том 43. – №3. – С. 441-446.
13. Полонский А.Б., Воскресенская Е.Н. О причине понижения температуры поверхностного слоя Черного моря // Доповіді Національної академії наук України, 2003. – №12. – С. 108-111.
14. Рева Ю.А. Межгодовые колебания уровня Черного моря // Океанология, 1997. – Т. 37. – №2. – С. 211-219.
15. Фомичева Л.А. Многолетние колебания среднего уровня Черного моря // Тр. ГОИН., 1986. – вып. 176. – С. 25-30.
16. Яншин А.Л. К проблеме парникового эффекта: прогнозы и реальность // Изв. РАН, сер. Географическая, 1994, – №3.
17. Bondar С. Trends in the evolution of the mean Black Sea level // Метеорология и гидрология. (Румыния), 1989. – 19. – №2. – С. 23-28.
18. Emery K.O., Aubrey D.G. Sea levels, land levels and tide gauge // N. Y. Springer-Verlag, 1992. – 237 p.
19. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.- Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, 2001a. – 881 p.
20. Likhodedova O.G., Konikov E.G. Modeling of centennial Black Sea level changes as a basis for forecasting. Extended Abstracts of the Second Plenary Meeting and Field Trip of Project IGCP 521 “Black Sea - Mediterranean Corridor during last 30 ky: Sea level change and human adaptation”, August 20 – 28, 2006, Odessa, Ukraine, – P. 111-114.

За допомогою сучасних методів статистичної обробки вихідних даних фєторами доведено, що зміни кліматичних і гідрологічних параметрів глобального та регіонального масштабів безпосередньо або посередньо відбиваються на режимі рівня моря. На підставі виявлених закономірностей створено сценарій змін рівня Чорного моря на майбутнє.

By means of modern methods of statistical processing of initial data authors are proved, that changes of global and regional climatic and hydrological parameters directly or indirectly are reflected in a sea level regime. On the basis of the revealed laws the scenario of change sea level in future is created.