

Динамика суши и уровня Черного моря в XX и XXI столетиях

© О. Р. Андрианова¹, Р. Р. Белевич¹, **В. Пейчев²**, М. И. Скипа¹, 2017

¹ГУ “Отделение гидроакустики Института геофизики НАН Украины”,
Одесса, Украина

²Институт океанологии Болгарской академии наук, Варна, Болгария

Поступила 10 апреля 2017 г.

Динаміку рівня та суши на узбережжі Чорноморського регіону досліджено за середньорічними даними щодо рівня моря на 10 станціях з 1874 по 2015 р. Загальною закономірною особливістю часової мінливості міжрічних коливань рівня Чорного моря було домінування хвилеподібного зростання рівня з етапами різної інтенсивності. За допомогою методу водного нівелювання розраховано величину та інтенсивність міжрічних тектонічних зсувів прибережної суши Чорного моря за згаданий період. Показано, що нерівномірне опускання прибережної суши є дзеркальним відображенням такого самого зростання рівня моря. При цьому процеси, що відбуваються у межах прибережної суши та на дні моря, визначають власні коливання рівня моря.

Довгочасна мінливість коливань рівня моря на станціях с тривалими спостереженнями (140 років) мала такі етапи: 1875—1925 рр. — слабке зниження рівня моря з інтенсивністю від $-0,02$ до $-0,16$ см/рік; 1926—1965 рр. — інтенсивне зростання рівня моря ($+0,30$ см/рік); 1966—1995 рр. — зростання з меншою інтенсивністю ($+0,20$ см/рік); 1996—2015 рр. — зниження рівня з інтенсивністю $-0,09$ см/рік. На короткочасних станціях етапи також синхронізовані в останні десятиліття. Стійке опускання середньорічних висот рівня моря в 1996—2015 рр. встановлено на семи з десяти проаналізованих станцій, а на інших трьох станціях визначено тенденцію зниження інтенсивності росту рівня.

Виявлено короткочасні та різкі “сплески” рівня у середньорічних рядах і подібні “провали” дна в обчислених рядах опускання суши. Ці збурення спостерігали майже синхронно на всіх станціях, мали квазидесятирічну періодичність, тривалість циклу 3—4 роки (іноді до 5 років) та амплітуду до 10—17 см (зазвичай 12 см). Іноді “сплески” рівня (як і “провали” дна) спостерігали парами.

Ключові слова: рівень моря, коливання суши, середньорічні дані, метод водного нівелювання, узбережжя Чорного моря.

Введение. Возросший интерес к региональным проявлениям глобальных климатических изменений определяется необходимостью оценки состояния прибрежных районов, которые представляют собой категорию природных контактных зон: с одной стороны — суша, с другой — дно и слой воды морей и океанов. Настоящая работа является продолжением и развитием проведенных ранее исследований [Андрианова и др., 2005, 2007], посвященных динамике суши и уровня моря Одесского региона и всего западного побережья Черного моря с использованием метода водного нивелирования [Зенин, 1961]. Исследования были продолжены

до 2015 г., поскольку в предыдущих работах [Андрианова и др., 2005, 2007] анализ данных и результатов расчета был завершён 1996 г. Более подробно дана оценка интенсивности колебаний уровня и состояния прибрежной суши в районах анализируемых станций и ее ежегодной изменчивости, проведена небольшая коррекция станции “Севастополь”, используемой в работе в качестве реперной.

Материалы и методы исследования. Для оценок интенсивности роста или опускания уровня моря, а также колебаний прибрежной суши вдоль западного побережья Черного моря были рассмотрены ряды среднегодовых высот

уровня на шести украинских станциях: “Вилково”, “Ильичевск”, “Одесса-порт”, “Порт Южный”, “Очаков” и “Севастополь” (частично как репер), на двух станциях румынского побережья: “Констанца” и “Сулина” и двух станциях болгарского побережья “Бургас” и “Варна” (табл. 1). Дополнительно к анализу была привлечена также ст. “Поти” (Грузия), расположенная на юго-восточном побережье Черного моря и характеризующаяся [Каталог ..., 1990] наиболее активным в Черном море локальным оседанием прибрежной суши (дна). Исходными данными для проведения необходимых расчетов послужили ряды среднегодовых высот уровня Черного моря на указанных станциях с начала периода наблюдений на каждой из них до 2015 г.

По украинским станциям данные наблюдений были выбраны из опубликованного каталога [Каталог ..., 1990] до 1985 г., электронного каталога морского отдела УкрГМИ (1986—2005 гг.), Одесской гидрометеорологической обсерватории (2006—2015 гг.). Материалы уровневных наблюдений на ст. “Бургас” и “Варна” (1928—2008 гг.) были переданы Институтом океанологии Болгарской академии наук.

Ряды среднегодовых высот уровня моря станций “Констанца” (Румыния, 1933—2008 гг.) и “Поти” (Грузия, 1874—2015 гг.) взяты с сайта <http://www.psmsl.org/>. Материалы среднегодовых высот уровня моря по ст. “Сулина” (Румыния 1900—2015 гг.) были сняты с графика, приведенного в работе [Bondar, 1989] и дополнены до 2015 г. Недостающие материалы за 2009—2015 гг. по румынским и болгарским станциям получены путем осреднения по годам архивных данных из ежедневных гидросиноптических карт, выпускаемых Гидрометцентром Черного и Азовского морей (г. Одесса).

Для оценок колебаний прибрежной суши на побережьях Черного моря с помощью метода водного нивелирования в качестве реперной станции, как и в работах [Андрианова и др., 2005, 2007], использовались наблюдения на ст. “Севастополь”. Суть этого метода состоит в сравнении колебаний уровня моря в двух пунктах и определении превышений между нулями их уровневных постов. При этом один из пунктов должен быть основным или реперным, колебания в нем, связанные с тектоническими движениями суши, должны отсутствовать.

Результаты исследований и их анализ.

Оценивая колебания уровня моря на ст. “Одесса-порт” за период наблюдений с 1875 по 2015 г., т. е. за 141 год, можно отметить, что за это время он, волнообразно изменяясь, возрос на 65 см, интенсивность роста составила 0,46 см/год, а вычисленная трендовая интенсивность $-0,42$ см/год (см. табл. 1). Волнообразный рост уровня моря на ст. “Одесса-порт” (рис. 1) наблюдался лишь до середины 1990-х годов, после чего на-

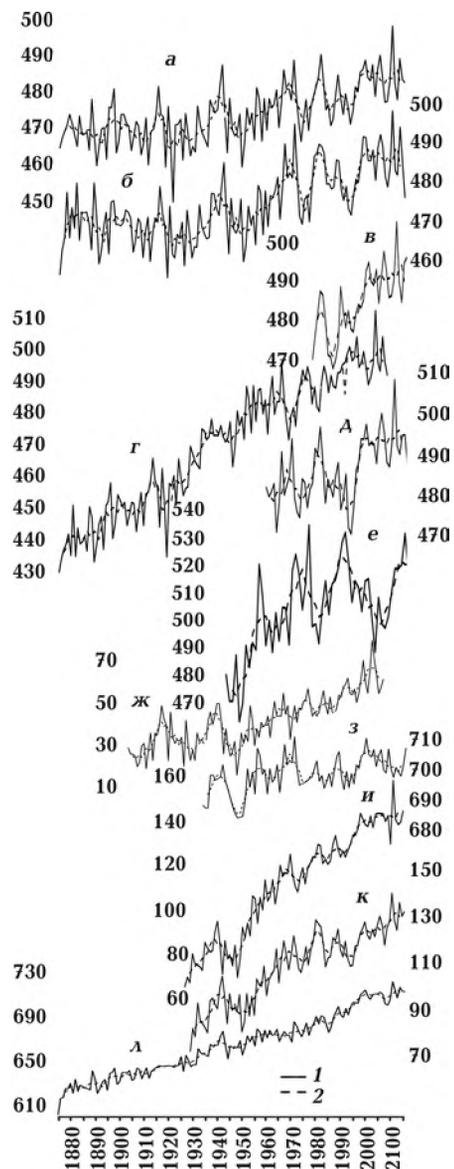


Рис. 1. Временной ход среднегодовых (1) и сглаженных 5-летним осреднением (2) высот уровня моря на станциях Черного моря за период наблюдений: а — Севастополь; б — Очаков; в — Южный; г — Одесса-порт; д — Ильичевск; е — Вилково; ж — Сулина; з — Констанца; и — Варна; к — Бургас; л — Поти.

Т а б л и ц а 1. Сведения об анализируемых станциях на побережьях Черного моря, периоде и продолжительности среднегодовых наблюдений над уровнем моря, а также осредненные за период наблюдений величина и интенсивность динамики уровня и суши по фактическим среднегодовым данным и тренду

Станции	Период наблюдений, годы	Длина ряда, количество наблюдений	Рост уровня за весь период, см	Интенсивность, см/год	Трендовая интенсивность, см/год	Опускание прибрежной суши		
						Величина опускания за весь период, см	Интенсивность, см/год	Трендовая интенсивность, см/год
Севастополь	1875—2015	141	18	0,128	0,120	—	—	—
Очаков	1874—2015	142	20	0,141	0,124	– 11	– 0,038	– 0,025
Порт Южный	1977—2015	39	21	0,36	0,538	– 14	– 0,36	– 0,32
Одесса-порт	1875—2015	141	65	0,46	0,42	– 50	– 0,3546	– 0,3554
Ильичевск	1960—2015	56	7	0,126	0,25	– 7	– 0,127	– 0,076
Вилково	1945—2015	71	81	1,19	0,67	– 32	– 0,44	– 0,50
Сулина	1900—2015	116	32	0,276	0,303	– 24	– 0,21	– 0,16
Констанца	1933—2015	83	21	0,25	0,153	– 15	– 0,169	– 0,121
Варна	1928—2015	88	79	0,90	0,91	– 68	– 0,77	– 0,769
Бургас	1928—2015	88	60	0,73	0,56	– 41	– 0,466	– 0,382
Поти	1874—2015	142	111	0,78	0,68	– 94	– 0,66	– 0,599

чал медленно, но по-прежнему волнообразно, опускаться до конца периода наблюдений (до 2015 г.), и это опускание составило 12 см. Вместе с тем, вычисленное трендовое опускание уровня за этот же период (1995—2015 гг.) — всего лишь 5 см. Анализ роста уровня моря на ст. “Одесса-порт” за период с начала наблюдений и до середины 1990-х годов показал, что и в этот период он также не был равномерным, а характеризовался двумя этапами с различным характером интенсивности роста: с 1875 г. и до середины 60-х годов интенсивность роста уровня по тренду была равна 0,55 см/год, а с середины 60-х и до середины 90-х годов — всего лишь 0,28 см/год. Следует отметить, что в рассмотренном 141-летнем временном ряду среднегодовых высот уровня моря на ст. “Одесса-порт” за 1875—2015 гг. было выявлено 14 случаев резких “всплесков” (табл. 2). Они наблюдались в 1881, 1888, 1897, 1915—1919, 1941, 1955—1958, 1966—1970, 1981, 1988, 1996, 2010 гг., что свидетельствует о квазидесятилетнем цикле их повторяемости. На всех рассмотренных далее станциях резкие “всплески” уровня моря наблюдались в эти же годы или имели сдвиг не более чем на 1—2 года. При этом каждый “всплеск” уровня уже несет в себе два этапа: подъем уровня перед “всплеском” и опускание после него.

Оценки величины и интенсивности опускания прибрежной суши на ст. “Одесса-порт” за период наблюдений с 1875 по 2015 г. (рис. 2) получены путем расчетов с использованием метода водного нивелирования (как разность уровней между репером и анализируемой станцией). Установлено, что в общем опускание составило примерно 50 см, интенсивность — 0,35 см/год (трендовая интенсивность имела такую же величину ~ 0,35 см/год) (см. табл. 1). При этом четко прослеживалось два этапа с различной интенсивностью опускания суши на ст. “Одесса-порт” с 1875 по 1962 г. и с 1962 по 2015 г. И если в течение первого этапа (1875—1962 гг.) интенсивность опускания прибрежной суши составляла примерно 0,5 см/год (0,46), то в течение второго она была в 2,5 раза слабее — 0,18 см/год. По аналогии с уровнем можно отметить, что в вычисленном временном ряду среднегодовых величин опускания суши на ст. “Одесса-порт” было выявлено 11 случаев резких “провалов” прибрежной суши (табл. 3).

Динамика уровня моря на ст. “Очаков” за 142 года наблюдений (1874—2015 гг.) также показала рост на 20 см с интенсивностью 0,141 см/год и трендовой интенсивностью роста 0,124 см/год (см. табл. 1). Эти значения свидетельствуют о квазистационарности ст. “Очаков”. В межгодовой изменчивости среднегодовых высот уровня моря на ст. “Очаков” (см. рис. 1) можно выделить четыре периода: с начала периода наблюдений (1874 г.) и до середины 1920-х годов слабое понижение с трендом — 0,06 см/год; до начала 1970-х годов рост + 0,30 см/год; с начала 70-х и до конца столетия уменьшение ин-

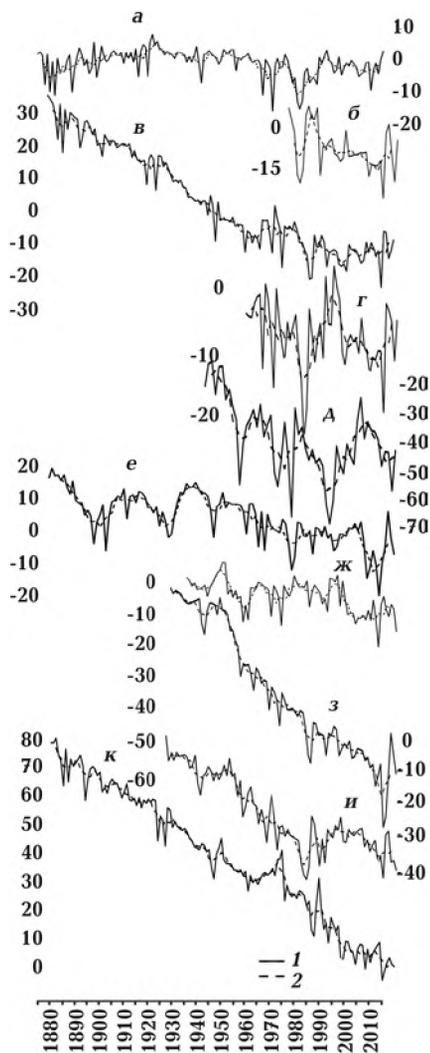


Рис. 2. Временной ход вычисленных среднегодовых (1) и сглаженных 5-летним осреднением (2) величин опускания суши на станциях Черного моря: а — Очаков; б — Южный; в — Одесса-порт; г — Ильичевск; д — Вилково; е — Сулина; ж — Констанца; з — Варна; и — Бургас; к — Потти.

Т а б л и ц а 2. Годы “всплесков” во временных рядах среднегодовых высот уровня Черного моря

Станция	1877— 1881	1888	1895— 1898	1915— 1919	1940— 1943	1955— 1958	1966— 1970	1979— 1982	1986— 1988	1995— 1999	2005— 2008	2010— 2011
Севастополь	—	1888	1897	1915— 1919	1941	1955	1966, 1970	1981	1988	1999	2005 (слабо)	2010
Очаков	1877— 1881	1888	1897	1915— 1919	1941	1955	1966, 1970	1981	1988	1999	2005 (слабо)	2010
Порт Южный	—	—	—	—	—	—	—	1981	1988	1999	2005 (слабо)	2010
Одесса-порт	1881	1888	1897	1915— 1919	1941	1955— 1958	1966, 1970	1981	1988	1996	—	2010
Ильичевск	—	—	—	—	—	—	1966, 1970	1981	1988 (слабо)	1999	2005	2010
Вилково	—	—	—	—	—	1955	1966, 1970	1981	—	1999	—	2011
Сулина	—	—	—	1915— 1919	1940— 1941	1955	1966, 1970	1981	1988	1999	2006	2010
Констанца	—	—	—	—	1942	1956	1966, 1970	1979	1988	1999	2008	—
Варна	—	—	—	—	1941	1955	1966, 1970	1981	1988	1998	—	2011
Бургас	—	—	—	—	1941	1955, 1958	1966, 1970	1979, 1982	—	1999	—	2010
Поти	1879— 1881	1888	1897	1915— 1919	1941	1955	1970	1979— 1981	1988	1999	—	2010

Т а б л и ц а 3. Годы “провалов” в вычисленных временных рядах среднегодовых величин опускания суши на побережье Черного моря

Станция	1877— 1881	1888	1895— 1898	1915— 1919	1940— 1943	1955— 1957	1966— 1970	1976— 1982	1986— 1988	1995— 1999	2003— 2008	2010— 2011
Очаков	1879, 1881	1888	1895, 1898	1915, 1919	1941	1955	1966, 1970	1981	1988	1999	2005 (слабо)	2010
Порт Южный	—	—	—	—	—	—	—	1981	1988	1999	2005	2010
Одесса- порт	1879, 1881	1888	1897	1915, 1919	1943	1955	1966, 1970	1981, 1982	1988	1999	—	2010
Ильичевск	—	—	—	—	—	—	1966, 1970	1981	—	1996	—	2010
Вилково	—	—	—	—	—	1955	1966, 1970	1981	1988	1999	2005	2011
Сулина	—	—	—	1915— 1919	1940— 1941	1955	1966 (слабо), 1970	1981	—	1995	2006	2010
Констанца	—	—	—	—	1943	1955— 1957	1966, 1970	1981	1988	1999	2008	—
Варна	—	—	—	—	1941— 1942	1955	1966, 1970	1976, 1981	1988	1999	—	2011
Бургас	—	—	—	—	1941	1957	1966, 1970	1981	1986— 1988	1996	—	2010
Поти	1877— 1881	1888	1895— 1897	1915— 1919	1941	1955	1970	1981— 1982	1988	1998	2003	2010

тенсивности роста +0,20 см/год; с начала XXI ст. и до конца периода наблюдений (2015 г.) уровень вновь понижался с интенсивностью –0,28 см/год. В межгодовой изменчивости за весь период наблюдений (142 года) на ст. “Очаков” было выявлено 15 случаев “всплесков” уровня моря в ряду среднегодовых значений (см. табл. 2).

Оценивая межгодовую изменчивость колебаний среднегодовых величин опускания прибрежной суши на ст. “Очаков” за весь период наблюдений, можно отметить отрицательный тренд, который характеризовался незначительными значениями –0,025 см/год (см. табл. 1). Межгодовая изменчивость среднегодовых величин опускания прибрежной суши стала зеркальным отражением колебаний роста уровня моря на ст. “Очаков”. Выделены четыре периода с трендовой интенсивностью по этапам: 1874—1925 гг. (+0,14 см/год); 1928—1972 гг. (–0,16 см/год); 1973—2000 гг. (–0,12 см/год); 1998—2015 гг. (–0,07 см/год) (см. рис. 2). Следует отметить, что в 142-летнем временном ряду среднегодовых величин опускания суши на ст. “Очаков” было выявлено 16 случаев годов с “провалами” суши (см. табл. 3).

Динамика уровня моря на ст. “Вилково”, расположенной в дельте р. Дунай, рассмотрена по его среднегодовым высотам за период с 1945 по 2015 г. Получено, что уровень возрос на 81 см при интенсивности роста +1,19 см/год и трендовой интенсивности +0,67 см/год (см. табл. 1). Детальный анализ временной изменчивости интенсивности роста уровня моря на ст. “Вилково” показал существование в его межгодовой изменчивости как минимум двух резко различающихся периодов (см. рис. 1): с 1945 по 1976 г. интенсивность роста составляла +2,15 см/год, а с середины 1970-х годов до конца периода наблюдений (2015 г.) — всего +0,62 см/год, что слабее более чем в 3 раза. За 71 год наблюдений на ст. “Вилково” было выявлено шесть случаев “всплесков” уровня (см. табл. 2).

Опускание прибрежной суши на ст. “Вилково” за весь период наблюдений на ней (1945—2015 гг.) составило 32 см с интенсивностью –0,44 см/год (см. табл. 1). Интенсивность имела те же два различных этапа (см. рис. 2) — с 1945 по 1971 г. тренд опускания суши –1,25 см/год, а с 1971 по 2015 г. –0,35 см/год, т. е. в три раза слабее. Также в 71-летнем временном ря-

ду опускания прибрежной суши на ст. “Вилково” было выявлено восемь случаев (годов) “провала” дна (см. табл. 3).

Оценивая временную изменчивость колебаний уровня моря на ст. “Констанца” по среднегодовым данным с 1933 по 2015 г. (<http://www.psmsl.org/>) можно констатировать, что за 83 года он, волнообразно изменяясь, возрос всего на 21 см при интенсивности роста +0,25 см/год и трендовой интенсивности роста уровня +0,15 см/год (см. табл. 1). Небольшая интенсивность роста уровня (0,153 см/год) свидетельствует о слабой динамике уровня моря и прибрежной суши в этом районе, которая согласуется с квазистационарными станциями “Севастополь” (0,124 см/год) и “Очаков” (0,141 см/год). Известно [Михайлов и др., 2001], что правобережье дельты Дуная (плато Добруджа) несколько поднимается (до 2 мм/год). Оценки величины роста уровня и его интенсивности показали, что в течение 83-летнего периода наблюдений отмечено как минимум три периода роста и три периода опускания (см. рис. 1): в начале наблюдений (с 1933 по 1941 г.) заметный рост +1,58 см/год; с 1941 по 1944 г. падение уровня –8,3 см/год; с 1944 по 1971 г. рост +0,72 см/год (что в 2 раза меньше предыдущей интенсивности роста); с 1971 по 1983 г. опускание с интенсивностью –0,55 см/год; с 1983 по 2000 г. рост +0,80 см/год; в последнем этапе наблюдений с 2000 по 2015 г. медленное опускание с интенсивностью –0,29 см/год. В ряду среднегодовых высот уровня моря на ст. “Констанца” было выявлено восемь резких “всплесков”, повторяющихся с квазидесятилетней цикличностью (см. табл. 2).

Расчеты динамики прибрежной суши на ст. “Констанца” показали, что за это время (1933—2015 гг.) произошло опускание на 15 см при интенсивности –0,12 см/год и такой же трендовой интенсивности (см. табл. 1). В межгодовом ходе колебаний суши на ст. “Констанца” за 83 года можно выделить три этапа в развитии этого процесса (см. рис. 2). В течение первых 30 лет (с 1933 по 1962 г.) выделяется существование хорошо выраженных короткопериодных знакопеременных трендов с интенсивностью по годам: 1933—1942 гг. (–0,40 см/год); 1939—1948 гг. (+1,07 см/год); 1948—1957 гг. (–1,44 см/год); 1957—1962 гг. (+1,76 см/год). В следующие 29 лет (с 1962 по 1990 г.) наблюдался

слабовыраженный однонаправленный положительный тренд с интенсивностью + 0,04 см/год. В оставшиеся 26 лет (1990—2015 гг.) выделялось два периода со знакопеременными трендами: с 1990 по 1999 г. опускание с интенсивностью – 1,64 см/год, с 2000 по 2015 г. почти нейтральное состояние (тренд + 0,04 см/год). В 83-летнем временном ряду опускания прибрежной суши на ст. “Констанца” было выявлено девять случаев (годов) резких “провалов” суши (см. табл. 3).

Динамика уровня моря на ст. “Сулина” за 116-летний период наблюдений (с 1900 по 2015 г.) показала волнообразные колебания с общим ростом 32 см с интенсивностью + 0,28 см/год и интенсивностью по тренду + 0,30 см/год (см. табл. 1). Межгодовая изменчивость роста среднегодовых высот уровня моря на ст. “Сулина” с 1900 по 2015 г. характеризовалась наличием значительных волновых возмущений в первой половине XX ст. и относительно плавной изменчивости во второй (см. рис. 1), что позволило выделить следующие этапы: с 1900 по 1915 г. рост + 1,11 см/год; с 1915 по 1930 г. падение – 1,18 см/год; с 1930 по 1941 г. рост + 2,09 см/год; с 1941 по 1949 г. максимальная за весь период наблюдений интенсивность опускания – 2,90 см/год; с 1949 по 1956 г. максимальная положительная интенсивность роста + 3,50 см/год; с 1956 по 2015 г. относительно плавный рост со средней интенсивностью + 0,44 см/год. За весь период наблюдений (116 лет) на ст. “Сулина” в ее межгодовом ряду среднегодовых высот уровня моря было выявлено 12 резких “всплесков” роста уровня (см. табл. 2).

Динамика прибрежной суши на ст. “Сулина”, рассчитанная за 116 лет наблюдений как разность между реперной и анализируемой станциями по среднегодовым значениям уровня моря на них, показала ее понижение на 24 см с интенсивностью – 0,21 см/год и трендовой интенсивностью опускания – 0,16 см/год (см. табл. 1). Межгодовая изменчивость прибрежной суши на ст. “Сулина” зеркально отражает изменчивость описанных выше чередующихся этапов интенсивности роста уровня моря и подтверждает факт существования значительных волновых возмущений в первой половине XX ст. и относительно плавный и равномерный рост во второй (см. рис. 2). Шесть знакочередующихся этапов различной временной продолжительности

характеризовались следующей интенсивностью: с 1900 по 1920 г. опускание – 1,0 см/год; с 1921 по 1930 г. рост + 0,33 см/год; с 1931 по 1941 г. опускание – 0,95 см/год; с 1942 по 1950 г. рост + 0,93 см/год; с 1951 по 2005 г. (этап продолжительностью 55 лет) опускание суши – 0,23 см/год; последний этап (2005—2015 гг.) имел положительную трендовую интенсивность + 1,3 см/год. В проанализированном временном ряду опускания прибрежной суши на ст. “Сулина” было выявлено 13 случаев резких “провалов” в опускании суши (см. табл. 3).

Временная изменчивость колебаний среднегодовых высот уровня моря в Варненском заливе проанализирована ранее за период 1875—2010 гг. в работе [Пейчев и др., 2010] по восстановленным данным для 1875—1928 гг. Наши оценки уровня моря по фактическим наблюдениям на ст. “Варна” за 88 лет (с 1928 по 2015 г.) тоже показали волнообразный характер его роста (см. рис. 1) на 79 см (с 65 см в 1928 г. до 144 см в 2015 г.) с интенсивностью в среднем + 0,90 см/год и трендовой интенсивностью + 0,91 см/год (см. табл. 1). В межгодовом ходе среднегодовых высот уровня моря на ст. “Варна” четко выделяются два этапа различной интенсивности его роста (см. рис. 1): с 1928 по 1961 г. интенсивность составляла + 0,98 см/год, на следующем этапе с 1961 по 2006 г. она уменьшилась до + 0,76 см/год, а с 2006 по 2015 г. уровень моря стабилизировался на нейтральном положении (см. рис. 1). В межгодовой изменчивости за 88-летний период наблюдений в ряду среднегодовых высот уровня моря на ст. “Варна” было выявлено восемь резких “всплесков” его (см. табл. 2).

По вычисленной динамике прибрежной суши на ст. “Варна” за период 1928—2015 гг. (88 лет) (см. рис. 2) можно отметить общее ее опускание на 68 см с одинаковыми фактической и трендовой интенсивностями – 0,77 см/год (см. табл. 1). С 1928 по 1980 г. интенсивность опускания прибрежной суши по трендовым оценкам была вдвое выше (– 0,93 см/год), чем в последующий период наблюдений с 1980 по 2015 г. (– 0,43 см/год). В 88-летнем временном ряду среднегодовых величин опускания прибрежной суши было выявлено девять случаев резких “провалов”, повторяющихся примерно с 10-летней периодичностью (см. табл. 3).

Межгодовая изменчивость колебаний среднегодовых высот уровня моря и интенсивного роста на ст. “Бургас” рассмотрена за период с 1928 по 2015 г. (88 лет). За это время уровень моря, также волнообразно изменяясь, увеличился на 60 см, а интенсивность его роста составила +0,73 см/год при трендовой интенсивности +0,56 см/год (см. табл. 1). В межгодовой изменчивости колебаний уровня на ст. “Бургас” отмечены перемежающиеся периоды его роста и опускания различной интенсивности и продолжительности (см. рис. 1): 1928—1941 гг. (рост +1,76 см/год); 1941—1949 гг. (опускание –1,51 см/год); 1949—1970 гг. (рост +1,53 см/год); 1970—1974 гг. (опускание –3,32 см/год); 1974—1981 гг. (рост +2,63 см/год); 1981—1994 гг. (опускание –0,57 см/год); 1994—2000 гг. (рост +2,41 см/год); 2000—2015 гг. (рост +0,75 см/год). В 88-летнем ряду уровня моря на ст. “Бургас” выявлено девять резких “всплесков”, повторяющихся с квазидесятилетней циклическостью (см. табл. 2).

По результатам расчета динамики прибрежной суши на ст. “Бургас” с 1928 по 2015 г. можно отметить, что она опустилась на 41 см при интенсивности –0,47 см/год и трендовой интенсивности –0,38 см/год (см. табл. 1). В межгодовой динамике прибрежной суши на ст. “Бургас” выделяются следующие периоды (см. рис. 2): с 1928 по 1952 г. опускание с трендом –0,31 см/год; с 1952 по 1978 г. опускание с трендом –0,77 см/год; с 1979 по 1994 г. рост с трендом +0,85 см/год и с 1994 по 2015 г. опускание с трендом –0,48 см/год. За это время на ст. “Бургас” было выявлено девять случаев (годов) резких “провалов” суши (см. табл. 3).

Оценивая колебания уровня моря на ст. “Ильичевск” (с 2016 г. город переименован) по данным ряда среднегодовых высот за период 56 лет (с 1960 по 2015 г.), можно констатировать волнообразный характер его роста (7 см за 56 лет) с интенсивностью +0,125 см/год и трендовой интенсивностью +0,25 см/год (см. табл. 1). Во временном ряду среднегодовых высот уровня моря на ст. “Ильичевск” выделяются четыре знакопеременных этапа (см. рис. 1): с 1960 по 1980 г. рост +0,24 см/год, с 1980 по 1990 г. понижение –1,11 см/год, с 1990 по 1997 г. рост +2,10 см/год; с 1998 по 2015 г. почти минимальная интенсивность +0,21 см/год. Интересно за-

метить, что если взять период на год меньше (с 1998 по 2014 г.), то получим отрицательную трендовую интенсивность –0,127 см/год за 17-летний период. В рассмотренном 56-летнем временном ряду среднегодовых высот уровня моря на ст. “Ильичевск” было выявлено семь резких “всплесков” уровня (см. табл. 2).

Опускание прибрежной суши на ст. “Ильичевск” за 55 лет наблюдений составило 7 см с интенсивностью –0,127 см/год и трендовой интенсивностью –0,076 см/год (см. табл. 1). В межгодовом ходе колебаний прибрежной суши на ст. “Ильичевск” можно выделить пять временных этапов различной интенсивности (см. рис. 2). С 1960 по 1978 г. и с 1978 по 1982 г. трендовая интенсивность опускания прибрежной суши в районе ст. “Ильичевск” была отрицательной и в течение первых 19 лет слабой (–0,22 см/год), в течение последующих 5 лет значительной (–6,0 см/год). С 1982 по 1992 г. тренд поменял знак и интенсивность составила +1,51 см/год. Последние два этапа продолжительностью 6 и 19 лет (соответственно с 1992 по 1997 г. и с 1997 по 2015 г.) характеризовались опусканием прибрежной суши, т. е. очередной сменой знака тренда на отрицательный (с интенсивностью –2,81 см/год и –0,03 см/год). В ряду среднегодовых величин опускания прибрежной суши на ст. “Ильичевск” за 55 лет было выявлено пять случаев (годов) резких “провалов” ее (см. табл. 3).

Динамика уровня моря на ст. “Порт Южный”, наблюдения над которым велись в течение 39 лет (с 1977 по 2015 г.), характеризовалась его повышением за это время на 21 см с интенсивностью +0,36 см/год и трендовой интенсивностью примерно +0,538 см/год (см. табл. 1). В межгодовой изменчивости колебаний уровня моря за все время наблюдений можно выделить шесть коротких знакопеременных этапов, тесно привязанных к резким всплескам уровня (см. рис. 1): с 1977 по 1981 г. рост с интенсивностью +4,2 см/год, с 1981 по 1986 г. опускание –2,81 см/год, с 1986 по 1988 г. рост с максимальной интенсивностью +8,62 см/год, с 1988 по 1993 г. опускание –1,94 см/год, с 1993 по 1999 г. рост +2,77 см/год, с 1999 по 2015 г. (наиболее продолжительный этап — 17 лет) незначительный рост +0,16 см/год. Резкие “всплески” уровня на ст. “Порт Южный” наблюдались в пяти случаях (см. табл. 2).

Оценивая динамику прибрежной суши на ст. “Порт Южный” за 39 лет наблюдений (с 1977 по 2015 г.), можно констатировать опускание ее на 14 см с интенсивностью $-0,36$ см/год и трендовой интенсивностью $-0,32$ см/год (см. табл. 1). В межгодовой изменчивости колебаний прибрежной суши на ст. “Порт Южный” можно выделить четыре этапа различной трендовой интенсивности, чередующихся по знаку (см. рис. 2): с 1977 по 1981 г. ($-4,96$ см/год), с 1981 по 1985 г. ($+4,92$ см/год), с 1985 по 1989 г. ($-2,87$ см/год), с 1989 по 2015 г. ($-0,25$ см/год). Также во временном ряду опускания прибрежной суши на ст. “Порт Южный” (1977—2015 гг.) выявлено пять резких “провалов” (см. табл. 3).

Временная изменчивость колебаний среднегодовых высот уровня моря на ст. “Поти”, взятой для сравнения в юго-восточной части Черного моря, была проанализирована за весь период наблюдений с 1874 по 2015 г. (142 года). За это время среднегодовой уровень моря, волнообразно изменяясь, возрос на 111 см с интенсивностью $+0,78$ см/год и трендовой интенсивностью $+0,68$ см/год (см. табл. 1). Межгодовая изменчивость уровня на этой станции в отличие от западного побережья моря имела три этапа повышенной интенсивности роста и три этапа относительно небольшого его роста (см. рис. 1). В течение 17 лет (с 1924 по 1940 г.), 11 лет (с 1945 по 1955 г.) и 24 лет (с 1974 по 1999 г.) трендовая интенсивность роста уровня была оценена соответственно в 1,44; 1,21; 1,36 см/год. В течение 37 лет (с 1874 по 1913 г.), 22 лет (с 1955 по 1976 г.) и 17 лет (с 1999 по 2015 г.) трендовая интенсивность роста уровня на ст. “Поти” была оценена соответственно в 0,48, 0,16 и 0,29 см/год. В течение 5 лет (с 1941 по 1945 г.) уровень моря опускался с интенсивностью $-0,20$ см/год. За период наблюдений (142 года) на ст. “Поти” было выявлено 10 случаев резких “всплесков” уровня моря (см. табл. 2). При этом с 1913 по 1923 г. наблюдения на ст. “Поти” вообще не велись.

Динамика прибрежной суши на ст. “Поти” с 1876 по 2011 г. (т. е. за 136 лет) показала ее опускание на 94 см с интенсивностью $-0,66$ см/год и трендовой интенсивностью $-0,60$ см/год (см. табл. 1). Оценка межгодовой изменчивости состояния прибрежной суши, выполненная поэтапно по трендам, показала (см. рис. 2): в течение 86 лет (с начала наблюдений в 1874 и

до 1950 г.) отмечалось квазиравномерное и однородное ее опускание с интенсивностью $-0,56$ см/год; в следующие 12 лет (с 1959 по 1970 г.) опускание сменилось поднятием прибрежной суши с интенсивностью $+0,31$ см/год; с 1970 и до 1992 г. (22 года) наблюдалось стабильное нейтральное положение прибрежной суши (тренд $+0,015$ см/год); с 1993 по 1999 г. (7 лет) и с 1999 по 2015 г. (17 лет) этапах имело место интенсивное ($-1,68$ см/год) и умеренное ($-0,38$ см/год) понижение суши. В ряду среднегодовых величин опускания суши на ст. “Поти” за 142-летний период вычислений было выявлено 11 резких величин “провалов” суши (см. табл. 3).

Выводы. На основании проведенного анализа полученных результатов установлено, что общей закономерной особенностью временной изменчивости межгодовых колебаний уровня Черного моря в течение рассматриваемого периода с 1874 по 2015 г. (т. е. последняя четверть XIX ст., все XX ст. и 15 лет XXI ст.) являлось доминирование волнообразного роста уровня с временными этапами различной интенсивности развития этого процесса.

В среднегодовых рядах выявлены годы с кратковременными и резкими “всплесками” уровня моря и аналогичными “провалами” суши (дна) в вычисленных значениях опускания суши (см. табл. 2, 3). Указанные возмущения с длительностью цикла 3—4 года (иногда до 5 лет) и амплитудой до 10—17 см (обычно 12 см) имели квазидесятилетнюю периодичность и отмечались почти синхронно на всех проанализированных станциях. Иногда всплески уровня (и провалы дна) наблюдались парами.

Долговременная изменчивость колебаний уровня моря, рассмотренная по материалам длительных наблюдений (140-летних рядов) на станциях “Одесса”, “Очаков”, “Севастополь”, характеризовалась следующим сценарием последняя четверть XIX и первая XX ст. (1875—1925 гг.) отличались слабым понижением уровня моря с интенсивностью от $-0,02$ до $-0,16$ см/год. С начала второй четверти XX ст. и до середины 60-х годов (1926—1965 гг.) в рассматриваемом регионе отмечался хорошо выраженный рост уровня моря с интенсивностью $+0,30$ см/год. С середины 60-х годов и почти до конца XX ст. (до 1995 г.) уровень моря сохранял свой рост, но характеризовался меньшей интенсивностью ($+0,20$

см/год). На последнем этапе анализируемого периода (с 1996 по 2015 г.) уровень моря на станциях западного побережья вновь стал характеризоваться слабым отрицательным трендом с интенсивностью $-0,09$ см/год. На станциях с меньшей продолжительностью наблюдений этапы также синхронизированы в последние десятилетия.

Начиная с конца 90-х годов XX ст. до 2015 г. XXI ст. установлено устойчивое опускание среднегодовых высот уровня моря на большинстве из проанализированных станций (на 7 из 10) и заметная тенденция понижения интенсивности роста уровня на остальных трех станциях. Сможет ли это опускание оставаться стабильным и устойчивым на долгое время или это кратковременное явление, повторяющее сценарий XX ст., покажет время. Возможно и в глобальном масштабе наступил период уменьшения интенсивности роста уровня океана (или даже его опускания), о чем свидетельствуют от-

дельные работы [Mörner, 2016], однако это является направлением дальнейших исследований закономерностей колебаний уровня в Атлантике и Мировом океане.

Применение метода водного нивелирования позволило рассчитать величины и интенсивность межгодовых тектонических смещений прибрежной суши на побережье Черного моря на протяжении всего XX ст. Показано, что неравномерное опускание прибрежной суши является следствием такого же роста уровня моря — его зеркальным отражением. По нашему мнению, в региональном масштабе, изменения уровня моря происходят вследствие процессов в прибрежной суше и на дне моря.

Авторы выражают благодарность и признательность болгарским и румынским коллегам за плодотворное сотрудничество и предоставленные материалы уровенных наблюдений на станциях “Бургас”, “Варна” и “Сулина” до 2015 г.

Список литературы

- Андрианова О. Р., Белевич Р. Р., Скипа М. И. Динамика суши и уровня побережья Одесского региона Черного моря. *Геофиз. журн.* 2005. 27. № 3. С. 463—469.
- Андрианова О. Р., Белевич Р. Р., Скипа М. И. Динамика суши и уровня западного побережья Черного моря. *Геофиз. журн.* 2007. 29. № 1. С. 160—166.
- Зенин В. Д. Метод водного нивелирования. Тр. ГОИН. 1961. Вып. 61. С. 66—115.
- Каталог наблюдений над уровнем Черного и Азовского морей. Госкомитет СССР по гидрометеорологии, Государственный океанографический институт, Севастопольское отделение, 1990. 269 с.
- Михайлов В. Н., Повалишников Е. С., Морозов В. Н. Многолетние изменения уровней в Килийском рукаве дельты Дуная. *Водные ресурсы.* 2001. 28. № 2. С. 189—195.
- Bondar C. V., 1989. Trends in the evolution of the mean Black sea level. *Meteorology and Hidrology* 19 (2), 23—28.
- Mörner N.-A., 2016. Sea level changes as observed in nature. In: *Evidenced-based Climate Science*. Ed. D. Easterbrook. 2nd Revised Edition. Amsterdam: Elsevier, P. 219—231.
- Pechev V., Demireva D., Dimitrov D., 2010. Changes sea level in Varna Bay for the period 1875 to 2007: *Proc. of the Union of Scientists — Varna. Series “Marine Science”*, P. 55—58 (in Bulgarian).

Dynamics of the land and the Black Sea level in the XX and XXI centuries

© O. R. Andrianova, R. R. Belevich, **V. Peychev**, M. I. Skipa, 2017

Trends in the sea level and land on the Black Sea coast were explored by using the average annual sea level data on the set of stations in the period from 1874 to 2015. The common regular feature of temporal variability of interannual fluctuations in the Black Sea was the dominance of wave-like rise with varying intensity stages. The value and intensity of interannual tectonic shifts of coastal land on the Black Sea were estimated during the same period with using the method of water leveling. It is shown that uneven subsidence of coastal land is a mirroring of the sea-level rise. Herein, the processes that are taking place in the coastal land and on the sea bottom are determining the fluctuations in sea level.

Long-term variability of the sea level fluctuations on long-term time-series stations (140 years) had the following stages: 1875—1925 — weak lowering with intensity of about $-0,02$ to $-0,16$ cm/year; 1926—1965 — intensive sea-level rise $+0,30$ cm/year; 1966—1995 — growth with smaller intensity $+0,20$ cm/year; 1996—2015 — again lowering with intensity $-0,09$ cm/year. The stages of sea level fluctuations on short-term stations are also synchronized in the last decade. The stable lowering of average heights of sea level in the 1996—2015 years was found on 7 of the 10 analyzed stations, and on other 3 stations, the tendency of reducing the intensity of level growth was observed.

The short and sharp “discrete peaks” of sea level and similar “fallings” of the sea bottom were found in series of average annual data. These disturbances were observed nearly simultaneously on all the analyzed stations with quasi decade frequency and had cycle time 3—4 years (sometimes up to 5 years) and amplitude up to 10—17 cm (usually 12 cm). Sometimes the discrete peaks of the sea level (as soon as “fallings” of the sea bottom) were observed in pairs.

Key words: sea level, land fluctuations, annual average data, the method of water leveling, the Black Sea coast.

References

- Andrianova O. R., Belevich R. R., Skipa M. I., 2005. Dynamics of land and level of the coast of the Odessa region of the Black Sea *Geofizicheskiy zhurnal* 27(3), 463—469 (in Russian).
- Andrianova O. R., Belevich R. R., Skipa M. I., 2007. Dynamics of land and level of the western coast of the Odessa region of the Black Sea. *Geofizicheskiy zhurnal* 29(1), 160—166 (in Russian).
- Zenin V. D., 1961. Method of water leveling. *Proceedings of the Institute of SOIN* (is. 61), 66—115 (in Russian).
- Catalog of observations on the level of the Black and Azov Seas, 1990. State Committee of the USSR for Hydrometeorology, State Oceanographic Institute, Sevastopol Branch, 269 p. (in Russian).
- Mikhailov V. N., Povalishnikova E. S., Morozov V. N., 2001. Long-term level changes in the Kilian sleeve of the Danube Delta. *Vodnyye resursy* 28(2) 189—195 (in Russian).
- Bondar C. V., 1989. Trends in the evolution of the mean Black sea level. *Meteorology and Hydrology* 19 (2), 23—28.
- Mörner N.-A., 2016. Sea level changes as observed in nature. In: *Evidenced-based Climate Science*. Ed. D. Easterbrook. 2nd Revised Edition. Amsterdam: Elsevier, P. 219—231.
- Peychev V., Demireva D., Dimitrov D., 2010. Changes sea level in Varna Bay for the period 1875 to 2007: *Proc. of the Union of Scientists — Varna. Series “Marine Science”*, P. 55—58 (in Bulgarian).