

- стояния планктонного сообщества Берингова моря в июне 1981 г., в кн.: Исследование экосистем Берингова и Чукотского морей, вып. 3, СПб, Гидрометеиздат.
- Цыбань А. В., Кудрявцев В. М., Умбрумянц И. О., Родыгин Н. А., 2000.** Количественные аспекты развития микробных популяций и их распределение, в кн.: Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей, М., Наука, с. 74–92.
- ACIA, Impacts of Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment, 2004.** Cambridge University Press, 139 p.
- Belchansky G. I., Douglas D. C., et al., 2005.** Variations in the Arctic's multiyear sea ice cover: A neural network analysis of SMMR-SSM/I data, 1979–2004, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 32, L09605.
- Climate Change 2007, 2007a.** The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://www.ipcc.ch/>.
- Climate Change 2007, 2007b.** Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., van der Linden P. J., and Hanson C. E., eds., Cambridge, UK, Cambridge University Press, 976 p.
- Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006.** Draft HELCOM Thematic Assessment in 2006, HELCOM Stakeholder Conference on the Baltic Sea Action Plan, Helsinki, Finland, 7 March 2006.
- Cross W. E., 1997.** Under-ice biota the Pond Inlet ice edge and in adjacent fast ice areas during spring, *Arctic*, vol. 35, pp. 13–27.
- Eppley R. W., 1972.** Temperature and phytoplankton growth in the sea, *Fisheries Bulletin*, vol. 70, pp. 1063–1085.
- GIWA Regional Assessment 11, 2004.** Global International Waters Assessment Barents Sea, United Nations Environment Programme, University of Kalmar.
- Grabowski M., Jazdzewski K., and Konopacka A., 2007.** Alien Crustacea in Polish waters — *Amphipoda*, *Aquatic Invasions*, vol. 2, No. 1, pp. 25–38.
- Green R. E., Harley M., Spalding M., and Zockler C. (eds.), 1999.** Impacts of Climate Change on Wildlife, RSBP/UNEP WCMC Publication, 79 p.
- Hansson H. G., 2006.** Ctenophores of the Baltic and adjacent seas — the invader *Mnemiopsis* is here!, *Aquatic Invasions*, vol. 1, No. 4, pp. 295–298, <http://www.aquaticinvasions.ru>.
- Javidpour J., Sommer U., and Shiganova T., 2006.** First record of *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 in the Baltic Sea, *Aquatic Invasions*, vol. 1, No. 4, pp. 299–302, <http://www.aquaticinvasions.ru>.
- McLaren A. S., Bourke R. H., Walsh J. E., and Weaver R. L., 1994.** Variability in sea ice thickness over the North Pole from 1958 to 1992, in: *Polar Oceans and their Role in Shaping the Global Environment*, Johannessen O. M., Muench R. D., and Overland J. E. (eds.), Amer. Geophys. Union, pp. 363–371.
- NSIDC News, 2005.** Sea Ice Decline Intensifies, <http://nsidc.org>.
- Polar Marine Diatoms, 1990.** Medlin L. K. and Priddle J. (eds.), British Antarctic Survey, National Environmental Research Council.
- Rodionova N. V. and Panov V. E., 2006.** Establishment of the Ponto-Caspian predatory cladoceran *Evadne anonyx* in the eastern Gulf of Finland, *Baltic Sea, Aquatic Invasions*, vol. 1, iss. 1, pp. 7–12, <http://www.aquaticinvasions.ru>.
- Rothrock D. A. and Maykut Y. Y., 1999.** Thinning of the Arctic sea ice cover, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 26, No. 23, pp. 3469–3472.
- Shchuka T. A., 2005.** Certain aspects of the zooplankton community state in the different parts of the Baltic Sea at the end 1990s—beginning of the 2000s years, in: *The Baltic Changing Ecosystem*, Abstracts 5th Baltic Sea Science Congress, Sopot, Poland, p. 132.
- Shy T. L. and Walsh J. E., 1996.** North Pole ice thickness and association with ice ocean history 1977–1992, 1979–1986, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 23, pp. 2975–2978.
- Zubakin G. K., Naumov A. K., and Skutina Ye. A., 2005.** Icebergs of the western sector of the Russian Arctic, *Proc. 18th Int. Conf. on Port and Ocean Eng. under Arctic Conditions*, POAC-05, vol. 2, pp. 565–574.

### 2.9. ЮЖНЫЕ МОРЯ

*Ведущие авторы:* А. Г. Костяной, Ф. С. Терзиев  
*Авторы:* А. И. Гинзбург, Г. В. Заклинский, Ю. Г. Филиппов, С. А. Лебедев, Н. П. Незлин, Н. А. Шеремет  
*Редактор-рецензент:* А. Н. Косарев

#### 2.9.1. Вводные замечания

Южные моря России (Черное, Азовское, Каспийское) с районами их водосбора вследствие сво-

его географического положения и размеров занимают один или несколько климатических поясов и могут в большей или меньшей степени откликаться на изменения регионального климата (Гидрометеорология..., 1991а; Гидрометеорология..., 1992; Абузьяров, 2003; Терзиев, 2005). У каждого моря в его гидрометеорологическом режиме есть свои наиболее важные параметры, изменение которых оказывает существенное влияние на хозяйственную деятельность. К таким параметрам отно-

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

сятся: уровень моря для замкнутого Каспийского моря и соленость воды для полужамкнутого Азовского моря. И тот, и другой параметры зависят от соотношения составляющих водного баланса этих морей и, в первую очередь, от притока речных вод. Последний имеет непосредственную связь с режимом увлажнения на водосборе выпадающих в море рек, который зависит от характера атмосферной циркуляции в районе водосбора, т. е. от климатически обусловленного процесса. К числу климатических факторов, определяющих режим увлажнения, относятся атмосферные процессы над Атлантико-Европейским сектором Северного полушария.

### 2.9.2. Черное море

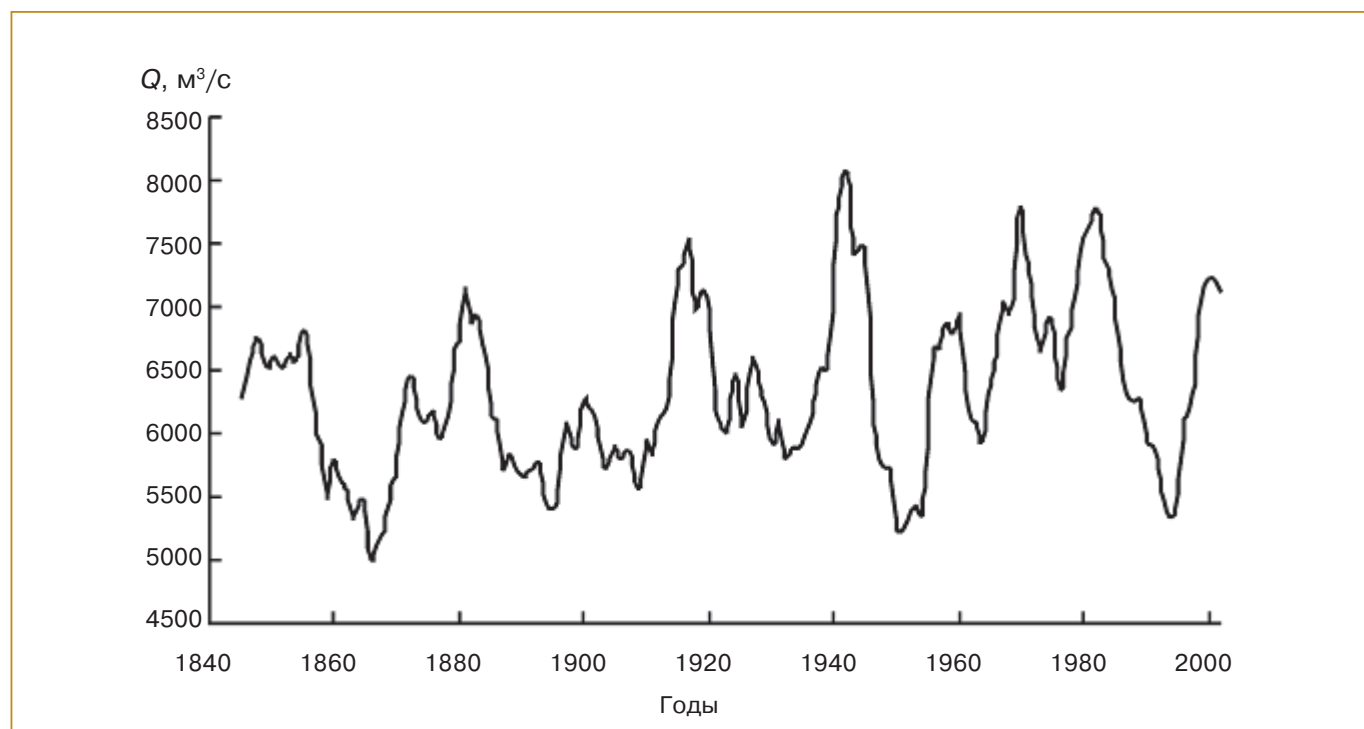
**Сток рек.** Площадь водосбора рек черноморского бассейна — около 1875 тыс. км<sup>2</sup> (из них примерно 216 тыс. км<sup>2</sup> — площадь с незначительным стоком) (Гидрометеорология..., 1991б). Средний многолетний речной сток за период с 1923 по 1998 г. составил 336 км<sup>3</sup>/год (Гидрометеорология..., 1991б; Горячкин, Иванов, 2006). При этом сток Дуная, имеющий среднее многолетнее значение примерно 200 км<sup>3</sup>/год (расход около 6500 м<sup>3</sup>/с), обеспечивает вместе с Днестром и Днепром 80% суммарного речного стока в море.

Выполненный в работе (Гидрометеорология..., 1991б) анализ данных о месячных и годовых зна-

чениях суммарного речного стока в Черное море за многолетний период указывает на отсутствие значимого влияния антропогенного фактора. Важным является, по-видимому, изменение климата, влияющее на увлажненность водосбора моря. В период 1860–2000 гг. сток Дуная увеличивался при заметной межгодовой изменчивости в среднем с положительным трендом 0,126 км<sup>3</sup>/год (рис. 2.9.1; см. Горячкин, Иванов, 2006; Mikhailov and Mikhailova, 2008).

**Уровень моря.** Уровень Черного моря, как и любого другого внутреннего бассейна, имеет ярко выраженную сезонную изменчивость, обусловленную в первую очередь речным стоком (в основном стоком Дуная и Днепра). Сезонная изменчивость уровня моря в среднем не превышает 20 см (Гидрометеорология..., 1991б). Однако из-за географического положения и большой площади водосбора Черного моря (817 тыс. км<sup>2</sup> для Дуная и 505 тыс. км<sup>2</sup> для Днепра) эта изменчивость подвержена влиянию климатических изменений. За последние сто лет уровень Черного моря, по данным уровнемерных постов, увеличился на 20 см (Гидрометеорология..., 1991б).

С начала наблюдений на уровнемерных постах (с 1875 г.) до 20-х годов XX столетия уровень Черного моря был относительно стабильным с небольшой тенденцией к понижению. С середины 1920-х годов до примерно 1985 г. наблюдалось повышение уровня со скоростью  $1,83 \pm 0,7$  мм/год



**Рис. 2.9.1.** Межгодовая изменчивость расхода Дуная  $Q$  в вершине дельты в 1840–2002 гг. (осреднение за 6 лет со скользящим средним) (Mikhailov and Mikhailova, 2008).

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

(Рева, 1997; Горячкин, Иванов, 2006). В частности, в Туапсе с 1917 по 2002 г. уровень повышался со средней скоростью 2,3 мм/год (рис. 2.9.2; Kosarev et al., 2008).

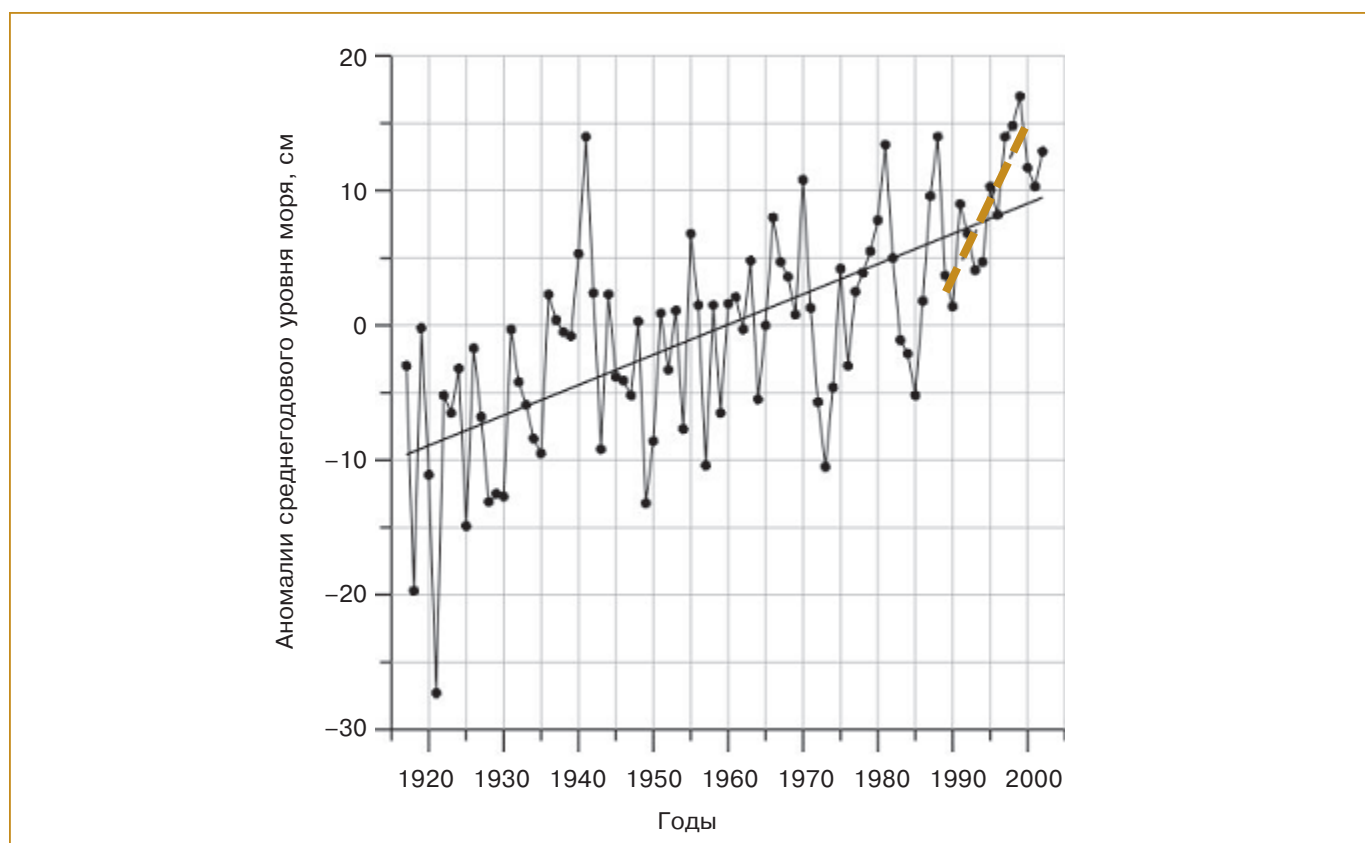
С сентября 1992 г. по настоящее время изменчивость уровня Черного моря хорошо прослеживается по данным спутниковой альтиметрии (рис. 2.9.3). Результаты расчетов показали, что за период с 1993 по 2005 г. уровень в западной части моря рос со скоростью  $1,9 \pm 0,2$  см/год, а в восточной части  $2,09 \pm 0,2$  см/год. В целом за этот интервал времени скорость изменения уровня всего моря составила  $2,06 \pm 0,3$  см/год.

Более подробный анализ показал, что в 1999 г. произошло значительное изменение скорости повышения уровня как Средиземного, так и Черного моря (Vigo et al., 2005). Согласно расчетам, с 1993 по 1999 г. скорость повышения уровня Черного моря в целом составляла  $2,94 \pm 0,9$  см/год, а с 1999 по 2001 г. уровень уменьшался со скоростью  $1,73 \pm 0,8$  см/год. С 2002 по 2004 г. снова имел место подъем уровня со скоростью  $7,77 \pm 0,5$  см/год. Положительный (в среднем) тренд изменения уровня Черного моря находится в хорошем соот-

ветствии с увеличением уровня в Северной Атлантике и связан с общим повышением уровня в Мировом океане.

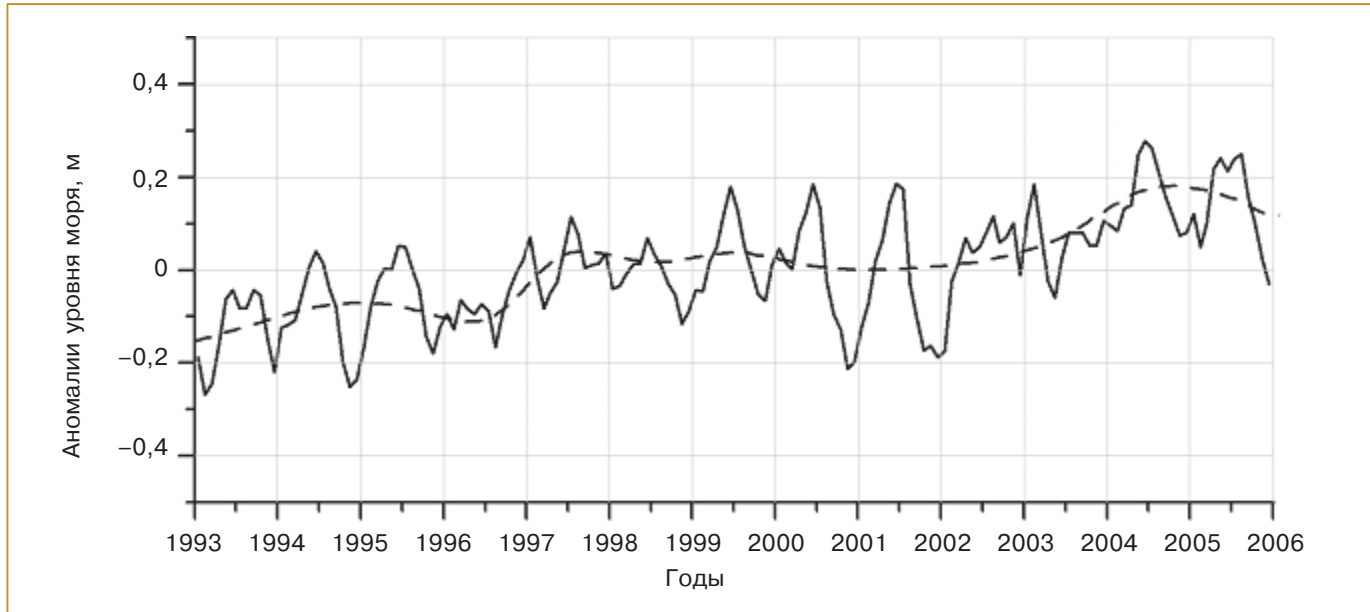
Сравнение оценок изменения уровня моря по данным уровнемерных постов и спутниковой альтиметрии показало их хорошее соответствие. Для временного интервала 1993–1995 гг. коэффициент корреляции составил от 0,73 до 0,83 (Korotaev et al., 2001).

*Соленость верхнего слоя моря.* В 1960–1995 гг. происходили изменения солености и соответственно вертикальной стратификации в верхнем 300-метровом слое Черного моря. Период относительно больших значений солености поверхностного слоя 0–50 м в 1966–1975 гг. сменился периодом 1976–1995 гг., характеризующимся уменьшением солености в нем в среднем на 0,2‰ (при типичной солености открытого моря около 18‰). В главном термоклине, напротив, соленость в этот период увеличилась (на 0,33‰ на глубине 100 м и 0,14‰ на глубине 300 м), что привело к усилению стратификации вод и ослаблению вертикального обмена между поверхностным слоем моря и его глубинными водами (Shokurova and Belokopytov, 2006).

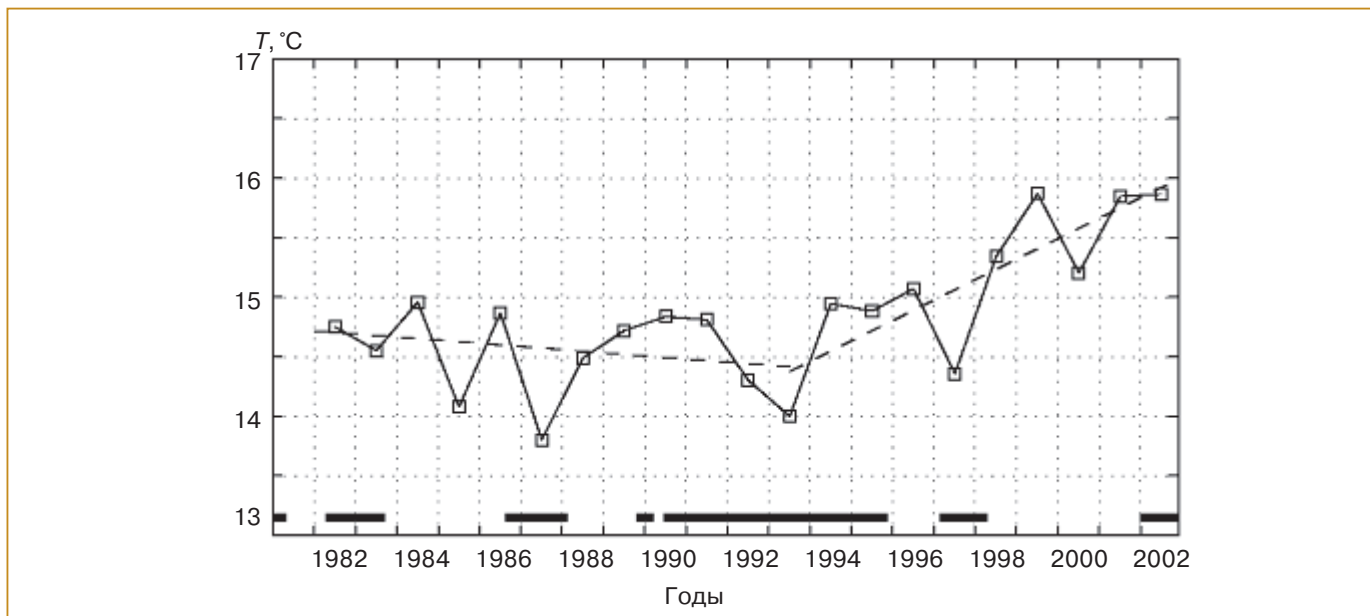


**Рис. 2.9.2.** Аномалии среднегодового уровня моря в Туапсе с 1917 по 2002 г. по данным Permanent Service for Mean Sea Level (<http://www.pol.ac.uk/psmsl/>). Прямая линия показывает средний тренд уровня моря за этот период; штриховая линия — тренд за период 1990–2000 гг. (Kosarev et al., 2008).

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.



**Рис. 2.9.3.** Межгодовая изменчивость аномалий уровня Черного моря с января 1993 г. по декабрь 2005 г. по данным альтиметрических измерений спутников “TOPEX/Poseidon” и “Jason-1” (сплошная линия). Изменчивость их средних значений показана пунктиром. Рисунок подготовлен специально для данного доклада.



**Рис. 2.9.4.** Средняя годовая температура поверхности Черного моря в 1982–2002 гг. Пунктиром показаны тренды в 1982–1993 гг. и 1993–2002 гг. Жирными отрезками на горизонтальной оси отмечены периоды Эль-Ниньо (Ginzburg et al., 2008).

*Температура верхнего слоя моря.* Анализ комбинированных данных по температуре поверхности моря (ТПМ) спутниковых массивов NODS/MCSST и Pathfinder (Ginzburg et al., 2008) выявил положительный тренд осредненной по Черному морю среднегодовой ТПМ  $0,06^{\circ}\text{C}/\text{год}$  в период 1982–2002 гг. (рис. 2.9.4). Потепление вод Черного моря происходило во все сезоны, причем наиболь-

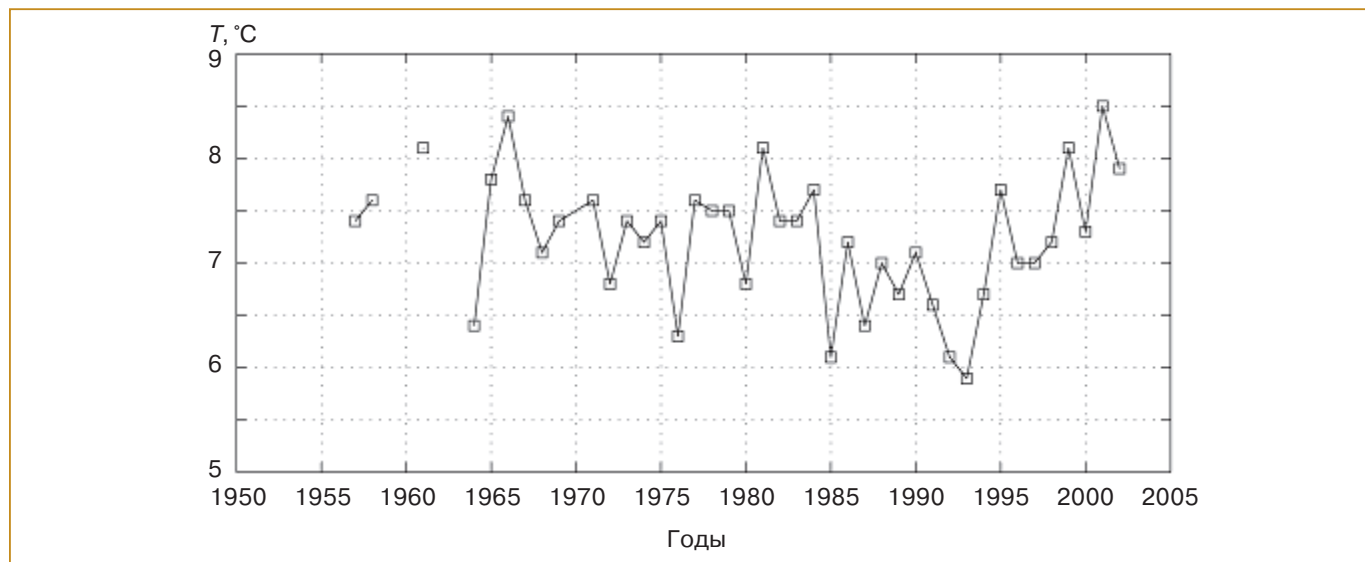
ший положительный тренд температуры поверхности моря наблюдался весной и летом ( $0,08$  и  $0,09^{\circ}\text{C}/\text{год}$  соответственно), наименьший — зимой и осенью ( $0,04^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ). В период 1982–2002 гг. характер изменения среднегодовой и зимней температуры и соответствующих трендов значительно изменялся до и после самого холодного 1993 г., с понижением температуры поверхности моря в

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

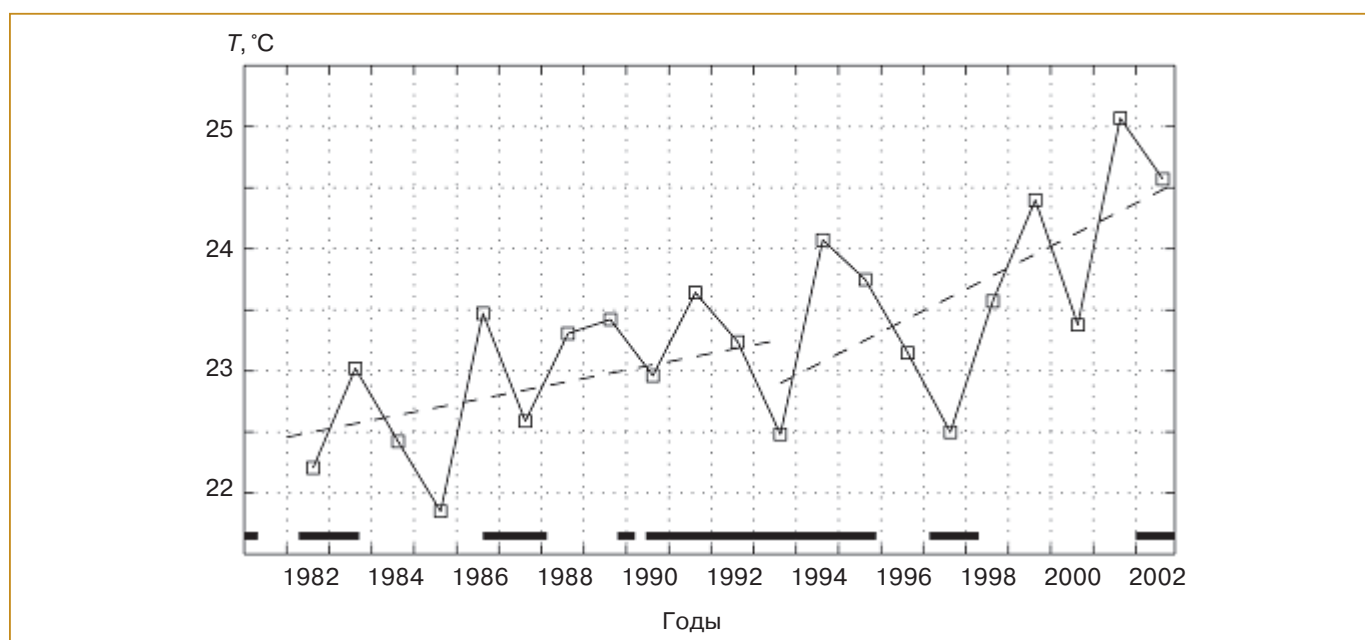
среднем в 1982–1993 гг. и ее повышением в 1993–2002 гг. (рис. 2.9.4, 2.9.5). В теплое время года наблюдался в среднем устойчивый рост температуры поверхности моря в этот 21-летний период, хотя с увеличением темпа потепления после 1993 г. по сравнению с 1982–1993 гг. (рис. 2.9.6).

Потепление вод Черного моря в 1982–2000 гг. имело место в период глобального потепления, наблюдавшегося с конца 1970-х годов (Levitus et al., 2000; Rayner et al., 2003). Ему предшествовал, по-

видимому, период маломеняющейся температуры поверхности Черного моря, что подтверждается характером изменения средней за зиму температуры в 1957–1980 гг. (рис. 2.9.5), отсутствием однонаправленных изменений температуры поверхности моря на 19 гидрологических станциях вдоль западного, северного и восточного черноморских побережий в 1923–1985 гг. (Гидрометеорология..., 19916), а также малым положительным трендом зимой (декабрь – март) температуры по-



**Рис. 2.9.5.** Межгодовая изменчивость температуры поверхности Черного моря зимой (средняя за февраль – март) в 1957–2002 гг. по комбинированным гидрологическим (1957–1983 гг.) и спутниковым (1984–2002 гг.) данным (Ginzburg et al., 2008).



**Рис. 2.9.6.** Межгодовая изменчивость температуры поверхности Черного моря летом (средняя за июль – сентябрь) в 1982–2002 гг. Пунктирные линии показывают тренды температуры поверхности моря. Жирными отрезками на горизонтальной оси отмечены периоды Эль-Ниньо (Ginzburg et al., 2008).

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

верхности Черного моря за столетие с 1900 по 2000 г. —  $0,0025^{\circ}\text{C}/\text{год}$  (Oguz et al., 2006).

Понижение температуры в поверхностном (0–50 м) и холодном промежуточном (на глубине примерно 50–100 м) слоях Черного моря примерно на  $1^{\circ}\text{C}$  с конца 1960-х годов до примерно 1993 г. сопровождалось ее увеличением в главном термоклине (на  $0,12^{\circ}\text{C}$  на глубине 200 м и  $0,04^{\circ}\text{C}$  на глубине 300 м) (Shokurova and Belokopytov, 2006).

Межгодовая изменчивость температуры поверхности моря в значительной степени определяет изменения в экосистеме Черного моря (Ginzburg et al., 2008). Так, холодные зимы 1985 и 1987 гг. (рис. 2.9.5), по-видимому, препятствовали массовому развитию гребневика *Mnemiopsis leidyi*, вселившегося в Черное море в 1982–1983 гг. и представляющего угрозу рыбным запасам моря. Резкое уменьшение биомассы этого гребневика, последовавшее за его массовым развитием в конце 1980-х годов, произошло в холодные зимы 1991/92 и 1992/93 гг. Однако в теплом 1995 г. снова наблюдался рост его биомассы (Shiganova et al., 2001; Oguz, 2005). Массовое развитие другого гребневика *Beroe ovata*, отдельные особи которого обнаруживались в Черном море уже летом 1997 г., произошло летом 1999 г., что, возможно, было связано с аномально теплой зимой 1998/99 г. (рис. 2.9.5) и жарким летом 1999 г. (рис. 2.9.6) (Виноградов и др., 2000).

**Плотность биомассы фитопланктона.** Для районирования Черного моря использовался метод эмпирических ортогональных функций (Nezlin, 2008), позволяющий разделить море на участки, в которых происходят синхронные изменения хлорофилла. В результате были выделены: мелководный северо-западный шельф, юго-западный прибрежный район (вытянутый вдоль западного и южного берегов с их узким шельфом), восточный район (включающий Батумский круговорот и узкий восточный шельф) и центральный глубоководный район.

Сезонные изменения хлорофилла в трех глубоководных районах имели четкий минимум летом и максимум в холодный осенне-зимний период. Такой сезонный ход характерен для субтропических морей, где термическая стратификация летом ограничивает подток биогенных веществ и рост фитопланктона. Черное море с его крайне выраженной халинной стратификацией может быть отнесено к этому же типу. Как и в субтропических районах океана, зимние шторма интенсифицируют обогащение верхнего слоя биогенными веществами, что вызывает повышение биомассы фитопланктона.

Вся поверхность Черного моря характеризовалась положительными аномалиями хлорофилла в 1997–2001 гг. и отрицательными аномалиями начиная с 2002 г. (рис. 2.9.7). Особенно резко отри-

цательная аномалия хлорофилла была выражена на северо-западном шельфе в 2002–2003 гг. Межгодовые колебания хлорофилла во всех четырех районах были достоверно скоррелированы со стоком Дуная. Более интенсивный сток вызывал увеличение хлорофилла на северо-западном шельфе, а через 2–2,5 года — в других районах Черного моря. Кроме того, сток Дуная (скоррелированный в свою очередь с климатическим индексом Эль-Ниньо — южное колебание (Niño3) и не зависящий от индекса североатлантического колебания (NAO)) оказывал положительное влияние на температуру поверхности моря, что можно объяснить накоплением тепла в стратифицированном (в результате перепада солености вследствие распределения речным стоком) верхнем слое моря (Nezlin, 2008).

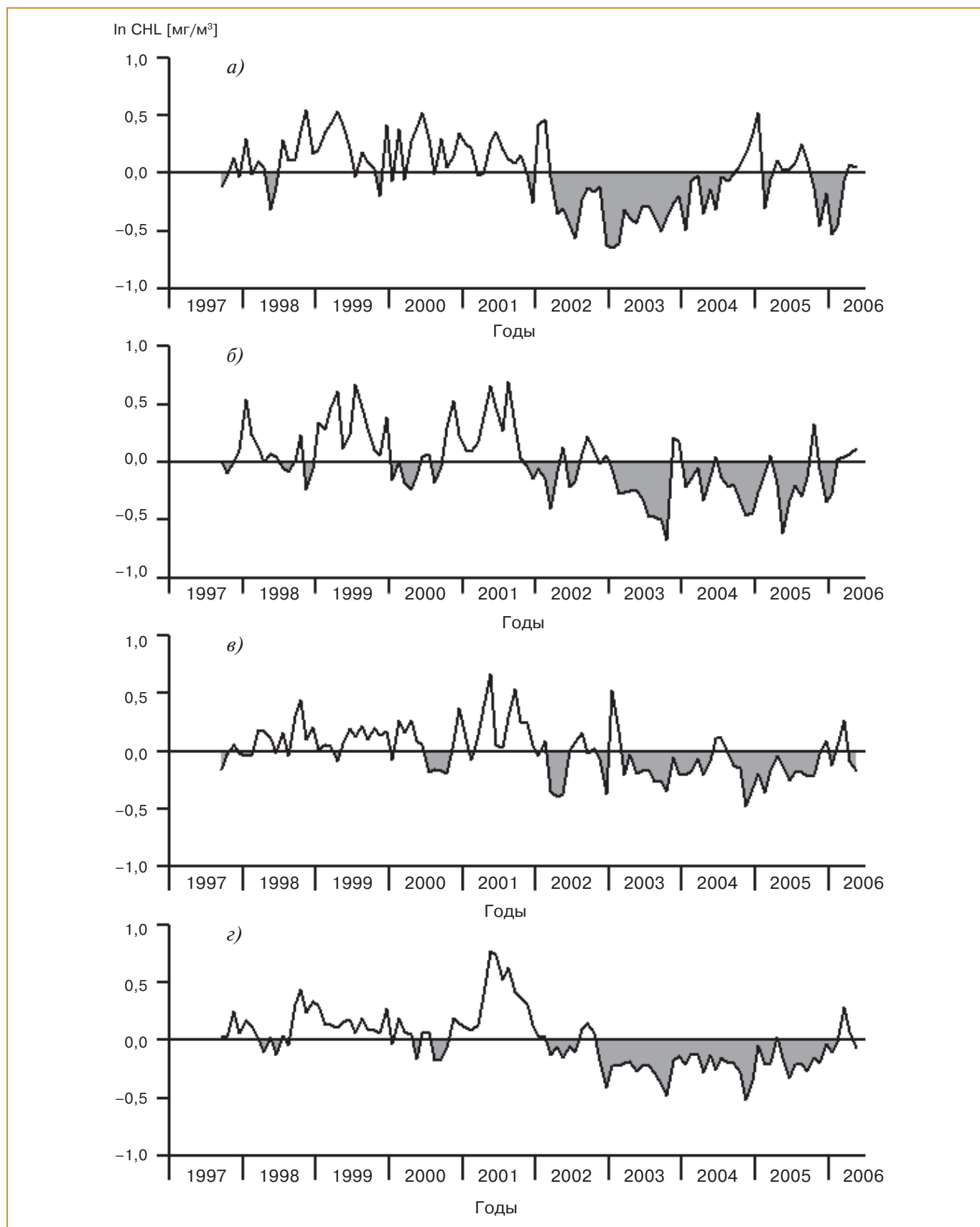
Некоторые авторы (Mikaelyan, 1995) связывают периодическое увеличение хлорофилла в Черном море с холодными зимами, во время которых усиливается циклоническая циркуляция и пикноклин в центральных районах моря поднимается выше обычного (подобный апвеллинг в других районах океана благоприятствует росту фитопланктона). Положительная связь между температурой поверхности моря и хлорофиллом указывает на доминирующую роль стока Дуная в межгодовой динамике черноморской пелагической экосистемы. Можно предположить два механизма такого влияния. Во-первых, дунайские воды несут в себе большое количество биогенных веществ, необходимых для роста фитопланктона. Во-вторых, сток пресных вод усиливает стратификацию, в результате чего клетки фитопланктона удерживаются в хорошо освещенном верхнем слое, что благоприятствует фотосинтезу и росту биомассы фитопланктона.

### 2.9.3. Азовское море

**Сток рек, осадки и испарение.** Сток рек, впадающих в Азовское море, с начала XX века (с 1900 г.) до середины 1970-х годов в среднем уменьшался (рис. 2.9.8, 2.9.9). С конца 1970-х годов по настоящее время наблюдается увеличение речного стока. Рисунок 2.9.8 показывает направления основных тенденций в многолетних изменениях стока рек Дон и Кубань в Азовское море. На рис. 2.9.9, 2.9.10 и 2.9.11 приведены измеренные значения и расчетные оценки естественного стока р. Дон в Азовское море, испарения с поверхности моря и осадков на его поверхность соответственно. Расчеты проводились для 11-летних средних, при этом в качестве предикторов использовались индексы западной *W*, меридиональной *S* и восточной *E* циркуляций (см. раздел 2.1.9).

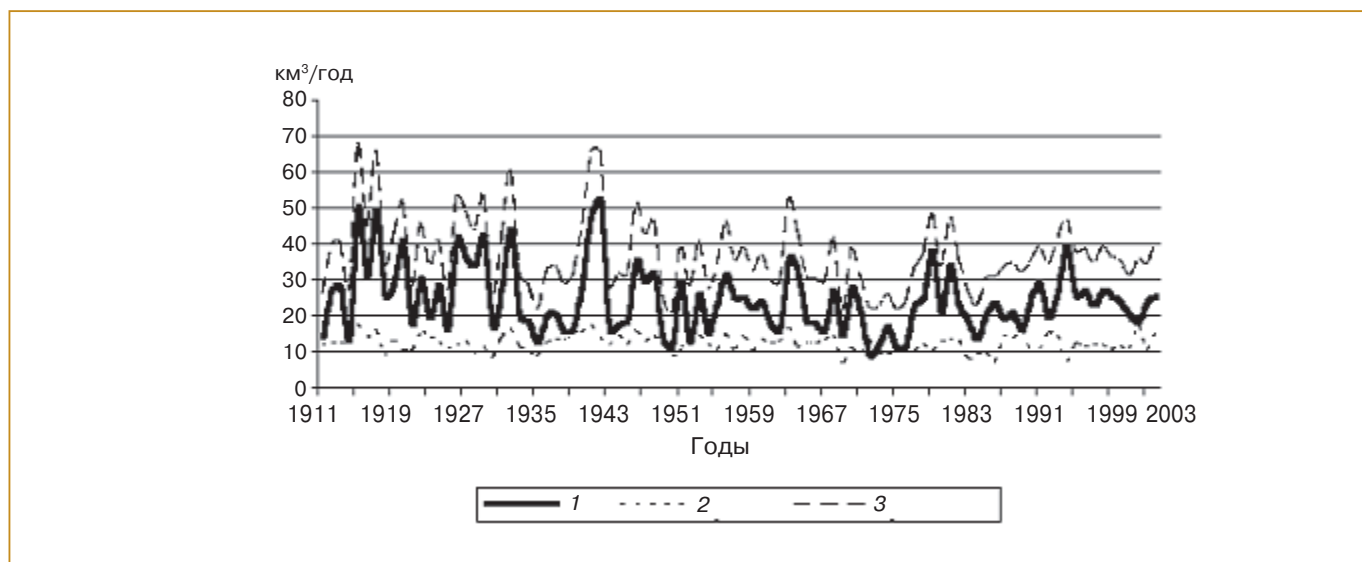
Сток рек, испарение и осадки используются при составлении водного баланса моря. Годовой

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

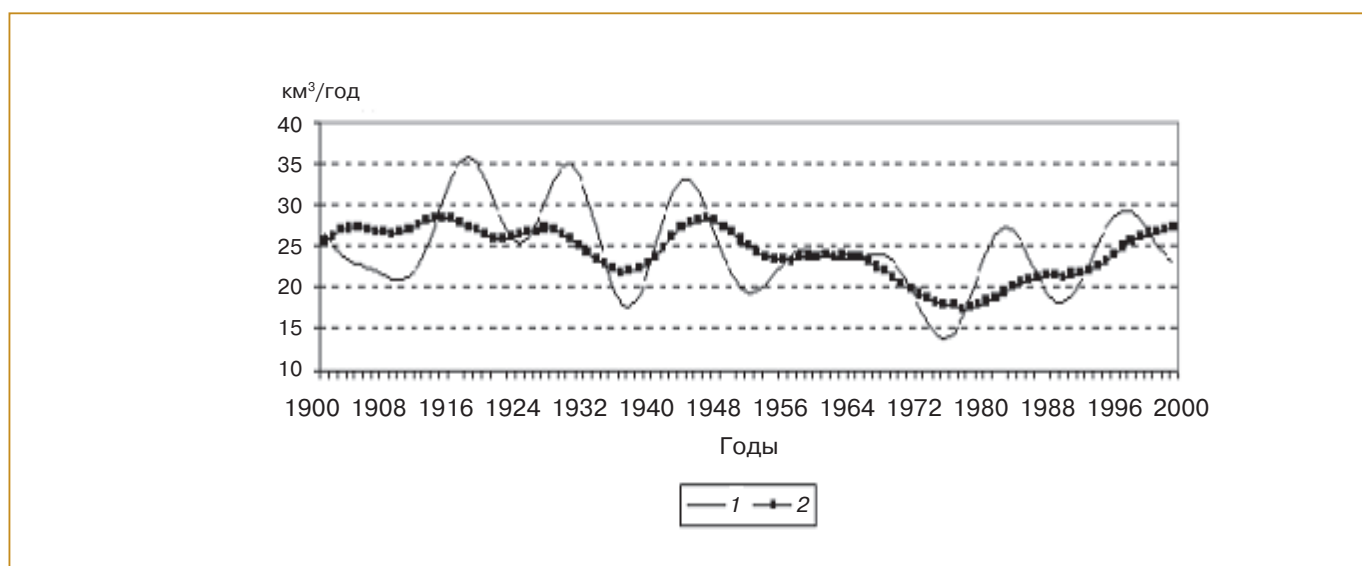


**Рис. 2.9.7.** Межгодовая изменчивость сезонных аномалий концентрации хлорофилла ( $\text{мг}/\text{м}^3$  в логарифмическом масштабе) в разных районах Черного моря. а) северо-западный шельф; б) юго-западный; в) восточный; г) центральный (Nezlin, 2008).

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.



**Рис. 2.9.8.** Сток рек Дон (1) и Кубань (2) и их суммарный сток (3) в Азовское море в 1911–2003 гг. по фактическим данным.



**Рис. 2.9.9.** Измеренное (1) и расчетное (2) значения объема осредненного за 11-летний период стока р. Дон.

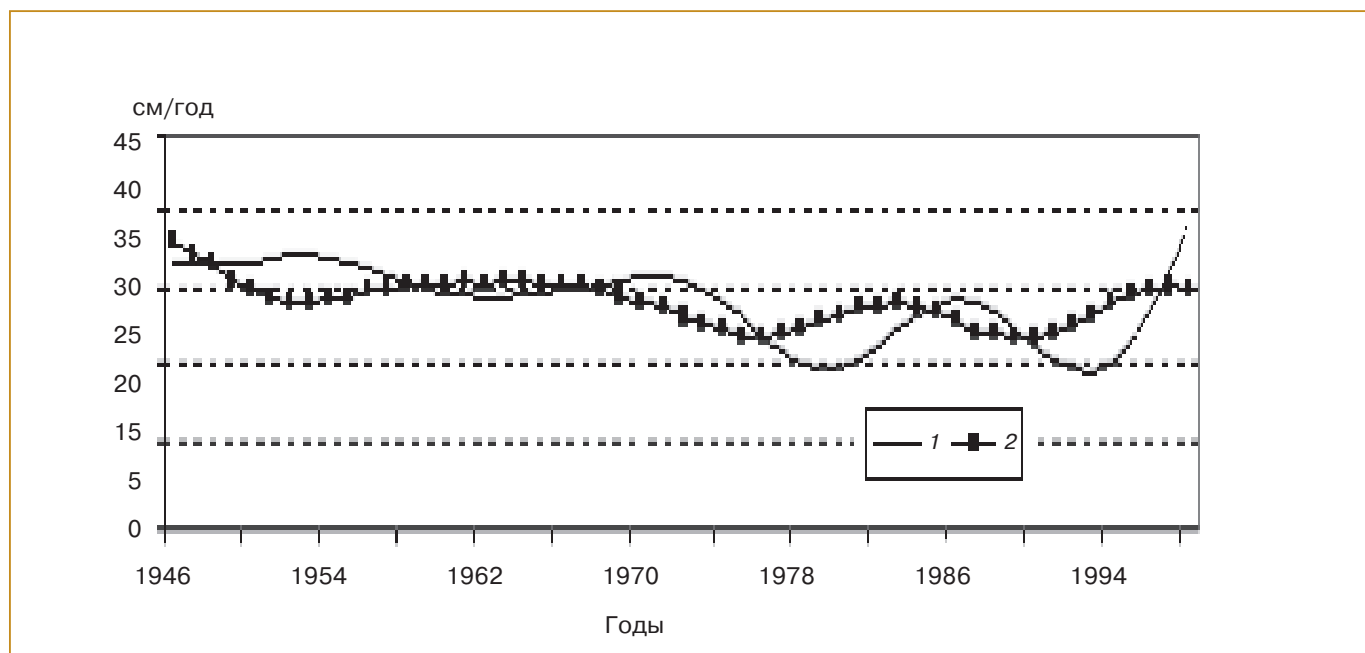
приток черноморских вод с 1923 по 1985 г. составил в среднем  $36\text{--}38 \text{ км}^3$ , а сток азовских вод в Черное море —  $53\text{--}55 \text{ км}^3$ . Водообмен с заливом Сиваш невелик: сток азовской воды в залив в год составил около  $1,5 \text{ км}^3$ , приток сивашских вод в море —  $0,4 \text{ км}^3$ .

Для выявления зависимости гидрометеорологических величин от циркуляционных процессов над водосбором Азовского моря был проведен многофакторный регрессионный анализ их связи с индексами атмосферной циркуляции Вангенгейма — Гирса. Было исследовано суммарное воздей-

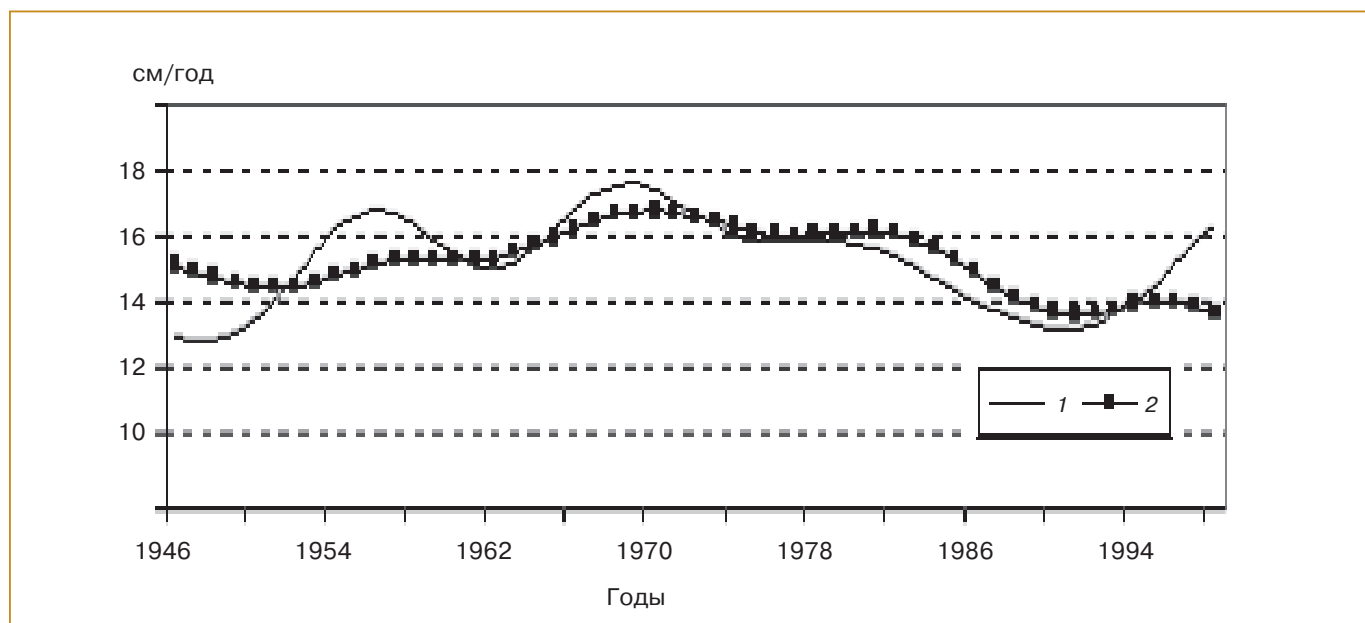
ствие всех трех типов циркуляции, а также каждого типа по отдельности. При этом были использованы результаты исследований ГОИН, Гидрометцентра России, ГГО и других институтов, установивших зависимости отдельных составляющих гидрометеорологического режима южных и северо-западных морей России от индексов циркуляции Вангенгейма — Гирса. При оценке многолетних тенденций гидрометеорологических величин использовались сглаженные данные — применялось 11-летнее скользящее среднее. Наибольшим коэффициентом множественной корреляции



## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.



**Рис. 2.9.10.** Измеренное (1) и расчетное (2) значения осредненного за 11-летний период испарения с поверхности Азовского моря.



**Рис. 2.9.11.** Измеренное (1) и расчетное (2) значения осредненной за 11-летний период суммы осадков на поверхность Азовского моря.

ляции  $R$  оказался при нулевом сдвиге по времени. Регрессионный анализ выявил зависимости, приведенные в табл. 2.9.1.

*Уровень моря.* По данным дистанционного зондирования, уровень Азовского моря имеет тенденцию к увеличению со средней скоростью  $2,11 \pm 0,2$  см/год (рис. 2.9.12). С 1992 по 1994 г.

уровень моря понижался. Так же, как и в Черном море, до 1999 г. уровень Азовского моря имел устойчивую тенденцию повышения, далее он уменьшался до 2002 г., а затем опять начал увеличиваться.

*Соленость.* Изменчивость водного баланса моря обуславливает изменчивость его солености — наиболее важного параметра, оказывающего суще-

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

**Таблица 2.9.1.** Зависимости стока р. Дон, испарения и суммы осадков на акватории Азовского моря от форм циркуляции

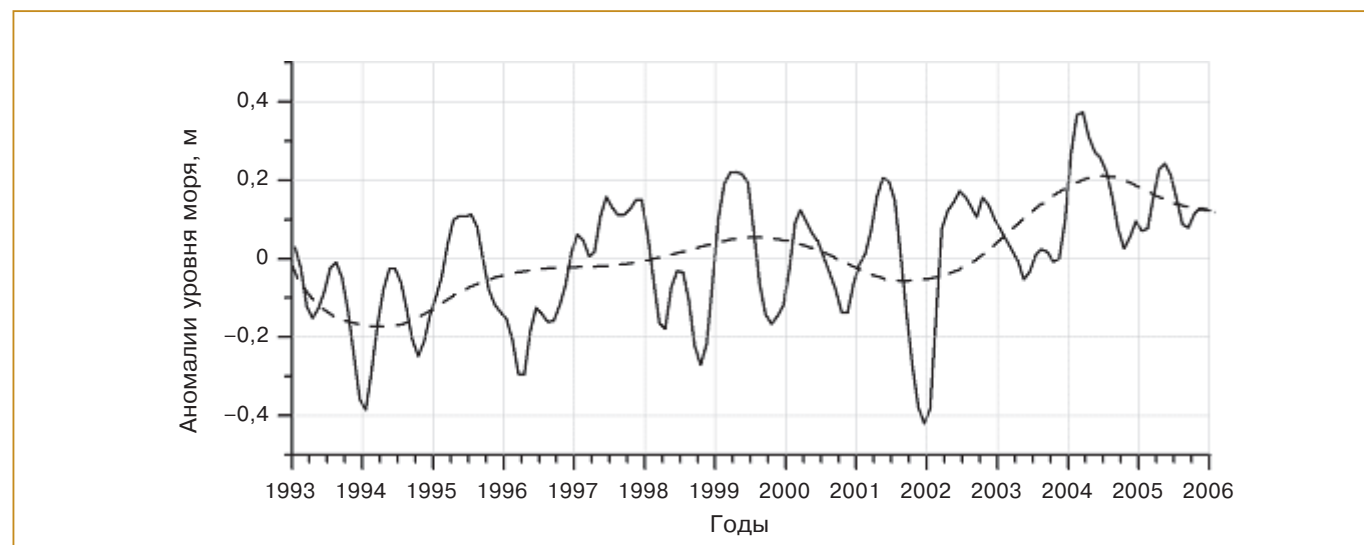
Параметр	Размерность	Период, годы	Зависимость	R <sup>2</sup>
Сток Дона	км <sup>3</sup> /год	1900–2000	$X = -713,9 + 2,068W + 2,066C + 1,96E$	0,6
Испарение	мм/год	1946–1998	$X = -614,1 + 1,8W + 1,8C + 1,8E$	0,6
Сумма осадков	мм/год	1946–1998	$X = -126,7 + 0,4W + 0,4C + 0,4E$	0,7

ственное влияние на хозяйственную деятельность на Азовском море. На протяжении 1922–1977 гг. наблюдалось повышение солености Азовского моря, связанное с антропогенными (зарегулированность и изъятие стока рек бассейна) и климатическими (изменение общей увлажненности бассейна) факторами примерно с 10,7‰ в 1920-х годах до 13,9‰ в 1977 г., что на ~3,0‰ больше естественной нормы. Однако в 1977–2002 гг. наблюдался в среднем отрицательный тренд средней по морю солености: она уменьшилась до ~11‰ в 1982 г. и несколько увеличилась до ~12‰ к 1985 г., в дальнейшем снова уменьшалась (рис. 2.9.13; Kosarev et al., 2008b; Matishov et al., 2006). В 1993–2005 гг. региональные проявления климатических изменений (увеличение стока рек и количества атмосферных осадков, уменьшение испарения) привели к уменьшению солености до величин условно-естественного режима (до зарегулирования стока рек бассейна моря).

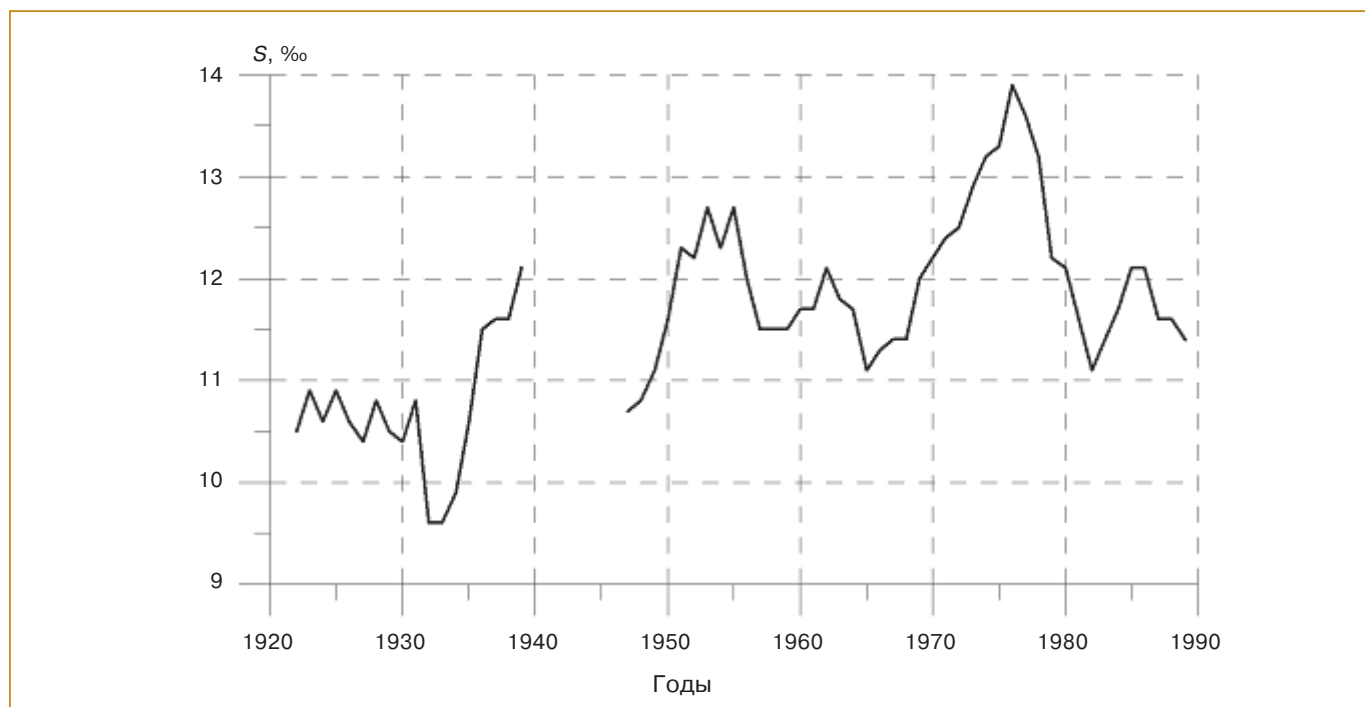
**Температура поверхности моря.** Со второй половины 1920-х годов до 1982 г. температура поверх-

ности моря в среднем изменялась мало, с положительным трендом порядка 0,01°C/год. В последующий период 1982–2000 гг. положительный тренд температуры поверхности моря увеличился в несколько раз и составил примерно 0,04°C/год. При этом, как и в Черном море, температура поверхности моря в среднем уменьшалась в 1982–1993 гг. и увеличивалась в 1993–2000 гг. (Matishov et al., 2006). В частности, в марте с 1977 по 2004 г. по сравнению с 1920–1976 гг. произошло повышение температуры поверхности моря на 0,7–1,7°C, связанное с преобладанием в последние десятилетия мягких зим с незначительной ледовитостью моря (Дьяков и др., 2006).

**Плотность биомассы фитопланктона.** От значения солености зависит видовой состав фито- и зоопланктона. При ее повышении в 1959–1972 гг. наблюдалось значительное уменьшение биомассы планктона, что резко ухудшило условия обитания рыб. Так, например, ареал обитания судака и тарани сузился в эти годы до восточной части Таганрогского залива.



**Рис. 2.9.12.** Межгодовая изменчивость аномалий уровня Азовского моря с января 1993 г. по декабрь 2005 г. по данным альтиметрических измерений спутников “TOPEX/Poseidon” и “Jason-1” (сплошная линия). Изменчивость их средних значений показана пунктиром. Рисунок подготовлен специально для данного доклада.



**Рис. 2.9.13.** Изменение средней по морю солёности  $S$  Азовского моря в 1922–1989 гг. (Kosarev et al., 2008b).

### 2.9.4. Каспийское море

**Сток рек.** Изменение климата непосредственно влияет на увлажненность водосбора Каспия. Сток Волги составляет до 80% притока вод в это море, а водосборный бассейн (включая бассейн рек Ока и Кама) имеет площадь около 1360 тыс. км<sup>2</sup> (Гидрометеорология..., 1992). Этот бассейн имеет значительную протяженность — более чем 2000 км от Каспия до Валдайской возвышенности. Он располагается в нескольких климатических зонах. Таким образом, изменения климата на водосборе существенно влияют на уровень Каспия. Суммарный приток пресных вод в Каспийское море в период 1880–2001 гг. существенно изменялся. Он мало менялся в среднем с 1880 по 1930 г. (при заметной межгодовой изменчивости с размахом около 240 км<sup>3</sup>/год на фоне среднего значения примерно 300 км<sup>3</sup>/год), затем уменьшался до 1977 г. (с минимумом в 1975 г. — 181 км<sup>3</sup>/год) и увеличивался с 1978 по 2001 г., с максимумом в 1994 г. (387 км<sup>3</sup>/год) и некоторым снижением в последующие годы (Фролов, 2003).

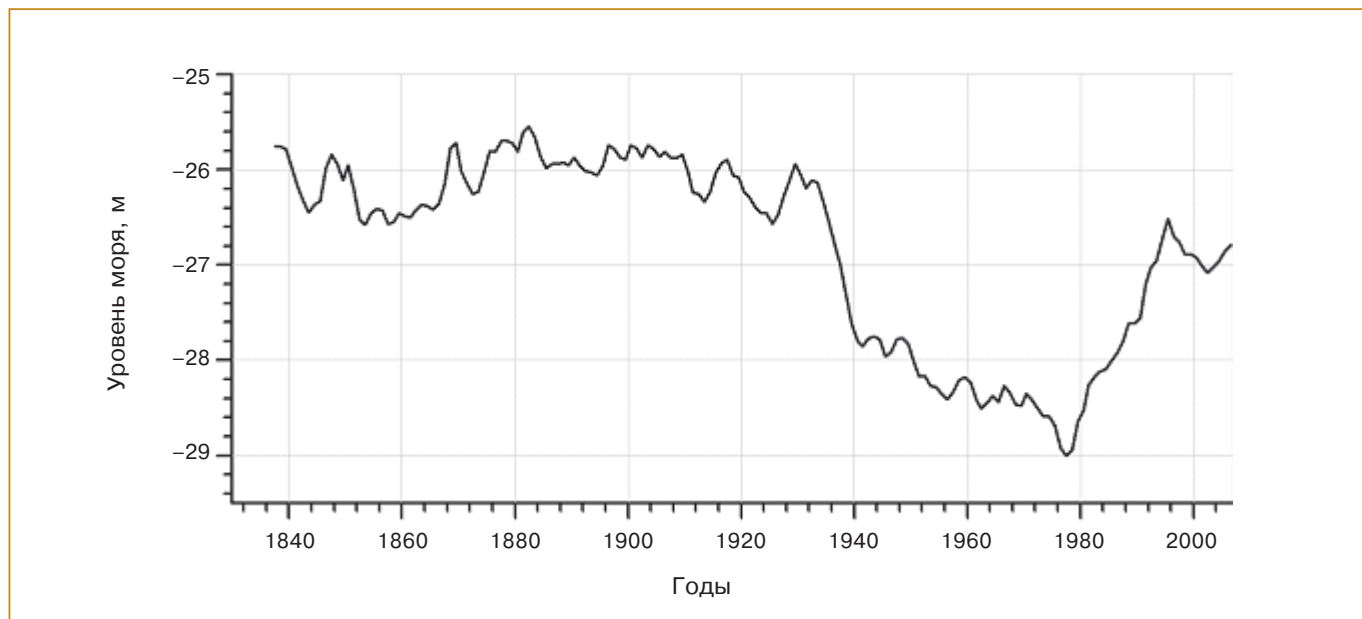
**Уровень моря.** Инструментальные измерения уровня Каспийского моря и систематические наблюдения за его колебаниями ведутся с 1837 г. Уровень моря измеряется в Балтийской системе высот (БС), принятой в СССР в 1977 г. Отсчет абсолютных высот в метрах БС ведется от нуля футштока в Кронштадте. От этой отметки отсчита-

ны высоты опорных геодезических пунктов и уровнемерных постов. В настоящее время БС используется как в России, так и в ряде других стран СНГ.

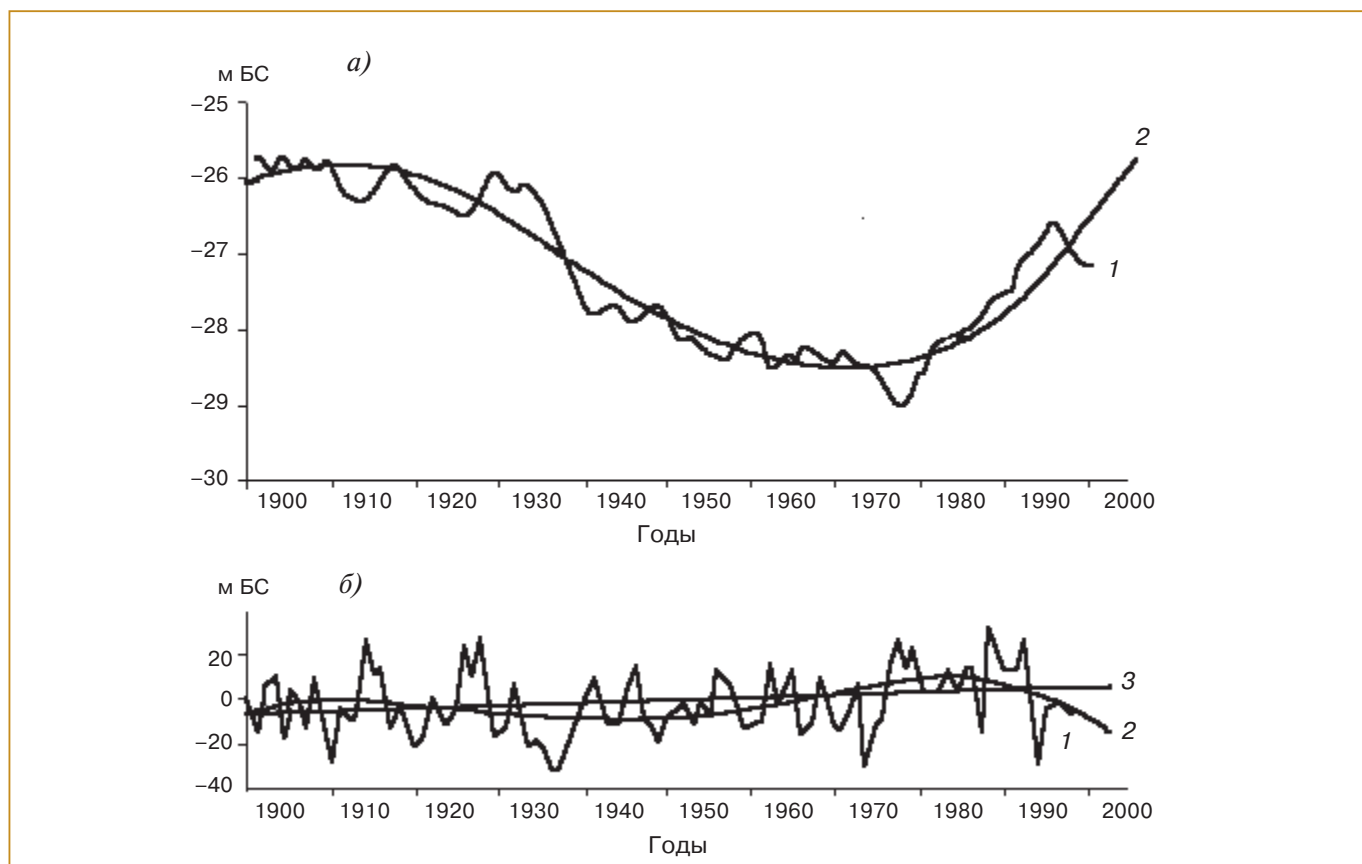
На рис. 2.9.14 приведен многолетний ход уровня Каспийского моря по данным уровнемерных постов с 1837 по 2006 г., а на рис. 2.9.15 — многолетний ход уровня Каспия и его приращения в XX веке. В многолетнем ходе уровня Каспийского моря в XX веке можно выделить несколько характерных периодов: 1900–1929 гг. и 1942–1969 гг. — относительной стабильности или умеренного понижения, 1930–1941 гг. и 1970–1977 гг. — резкого понижения, а 1978–1995 гг. — резкого повышения.

За последнее столетие самый высокий уровень воды в Каспии зарегистрирован в 1900 г. (–25,7 м БС), а самый низкий за последние 550 лет — в 1977 г. (–29,0 м БС). Для стабилизации уровня были приняты определенные хозяйственные меры, в частности, отделение залива Кара-Богаз-Гол глухой дамбой в марте 1980 г. Однако к этому времени (1980–1981 гг.) вследствие естественных климатических причин уровень Каспия уже повысился на 40–50 см (Терзиев, Никонова, 2003; Абузаров, 2003; Kosarev and Kostianou, 2005). Это происходило в результате изменения климата в Атлантико-Европейском секторе с преобладанием западной формы циркуляции  $W$ . При этом значительно увеличилась увлажненность, увеличились суммы осадков и водность рек. С 1978 г. ежегодный подъем уровня составлял от 14 до 30 см. В результа-

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.



**Рис. 2.9.14.** Многолетний ход уровня Каспийского моря (м БС) по данным уровнемерных постов с 1837 по 2006 г. включительно (по данным ГОИН; см. также (Лебедев, Костяной, 2005)).



**Рис. 2.9.15.** Многолетний ход уровня Каспийского моря (у) (а) и его приращений (б) во времени. 1 — результаты наблюдений, 2 — полиномиальное сглаживание (рисунок а:  $y = -9 \cdot 10^{-8}x^4 + 4 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0037x^2 + 0,0614x - 26,104$ ; б:  $y = -6 \cdot 10^{-6}x^4 + 0,0012x^3 - 0,0681x^2 + 1,1851x - 7,1982$ ), 3 — линейный тренд ( $y = 0,1161x - 7,2562$ ).

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

те с 1977 по 1995 г. уровень моря поднялся на 2,4 м, а его абсолютное значение достигло  $-26,6$  м БС.

С сентября 1992 г. по настоящее время изменчивость уровня Каспийского моря хорошо прослеживается по данным спутниковой альтиметрии (рис. 2.9.16). Основные преимущества использования данных дистанционного зондирования в исследовании изменчивости уровня Каспия, а также других южных морей изложены в разделе 2.1.9. Результаты расчетов показали (рис. 2.9.16), что с зимы 1992/93 г. до лета 1995 г. наблюдался рост уровня моря, затем имело место очередное понижение до зимы 2001/2002 гг. (до отметки  $-27,1$  м) и последующее повышение, которое продолжается и в настоящее время, со средней скоростью  $7,5 \pm 1,3$  см/год (Лебедев, Костяной, 2004, 2005).

Сравнение расчетов по данным уровнемерных постов и спутниковой альтиметрии показало хорошее соответствие полученных результатов. Для временного интервала 1993–2005 гг. коэффициент корреляции составил от 0,74 до 0,98 (Лебедев, Костяной, 2004, 2005).

Экономический ущерб, связанный с этим подъемом уровня Каспийского моря, составил, по оценкам Всемирной метеорологической организации (ВМО), 15 млрд. долл. США (Комплексная..., 1997). По тем же оценкам, если в ближайшие годы не будут приняты меры по защите береговых сооружений, ущерб может достигнуть 200 млрд.

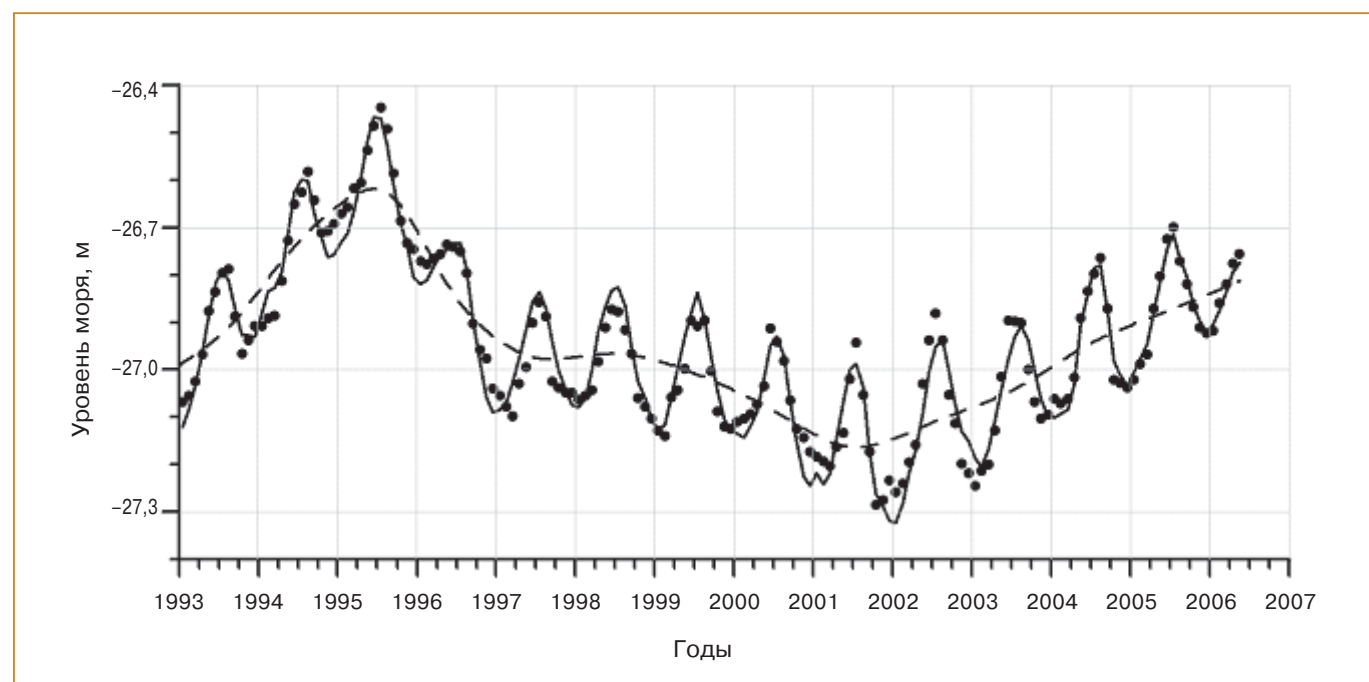
долл. (Комплексная..., 1997; Абузяров, 2003). Нанесен большой ущерб рыбному, сельскому и водному хозяйствам в регионе.

Подъем уровня моря с 1978 по 1995 г. разрушил поселки и инфраструктуру полосы береговой зоны Казахстана шириной 50–70 км, а в Туркменистане захватил полосу берега шириной 5–35 км. По оценкам (Transboundary..., 2002), воздействие этого подъема уровня моря коснулось 7 млн. га суши, где проживало около 600 000 человек.

Кроме того, ветровое воздействие (нагонные явления в мелководном Северном Каспии) приводит к затоплению прибрежных районов. Так, нагонные явления высотой 2–3 м могут затопить 20–30 км территории в глубь береговой зоны. Сгонные ветровые явления до 0,5 м (обычно ниже нагонных явлений) обнажают большие участки берега.

С другой стороны, по оценке рыбохозяйственных институтов (КАСПНИРХ и др.), в случае понижения уровня Каспия может произойти полное исчезновение ценнейших пород осетровых.

*Соленость.* Значительные многолетние изменения солености наблюдаются в основном в мелководном Северном Каспии, где они обусловлены, главным образом, изменениями волжского стока. За более чем полвека (1931–1989 гг.) среднегодовые значения солености Северного Каспия изменялись от 11,7 до 6,4‰ (размах 5,3‰). В условиях квазистационарного водно-солевого баланса

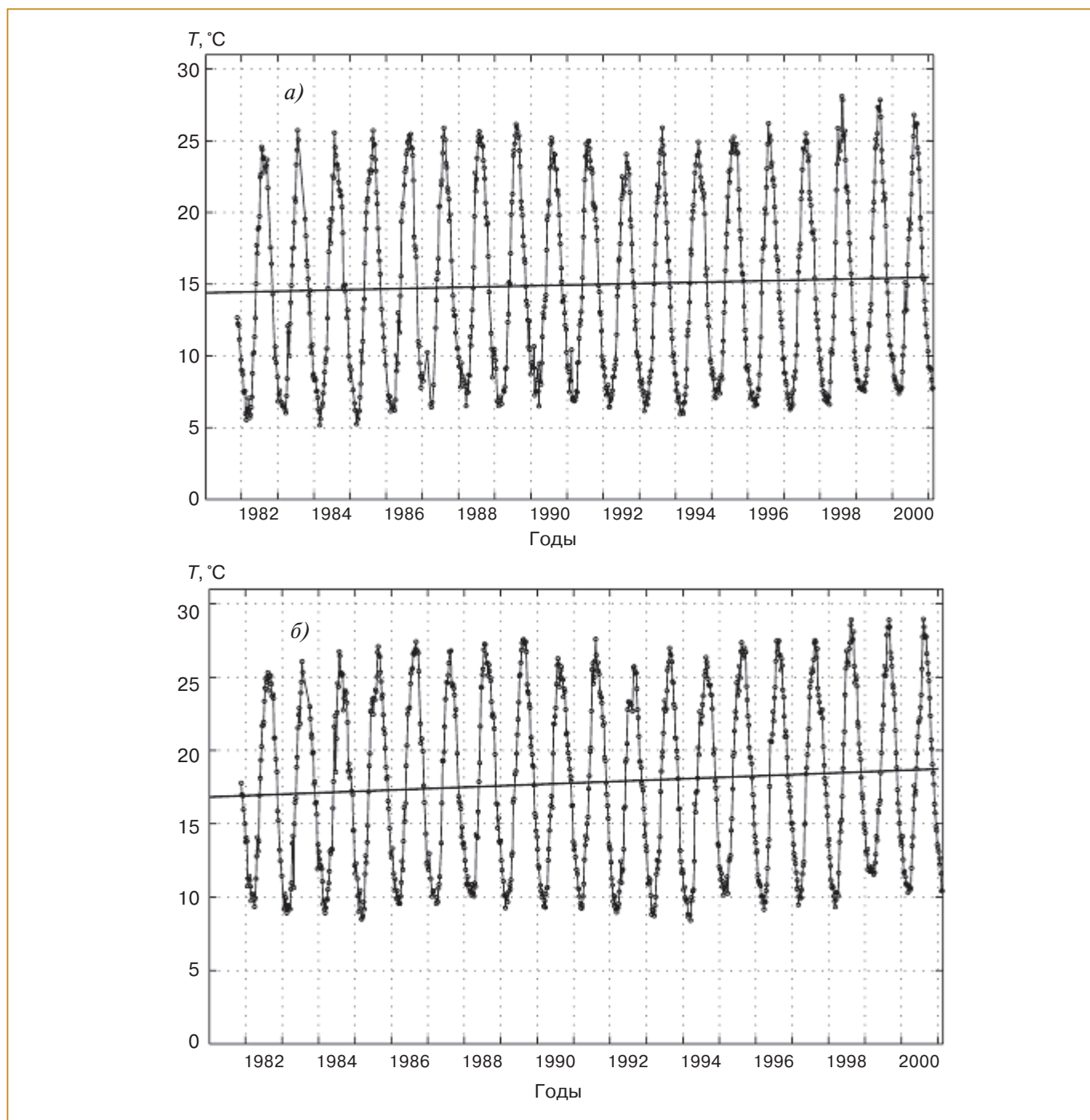


**Рис. 2.9.16.** Изменения уровня Каспийского моря (м БС) с января 1993 г. по июнь 2006 г. по данным альтиметрических измерений спутников “TOPEX/Poseidon” и “Jason-1” (сплошная линия) и данным уровнемерных постов (маркеры). Межгодовая изменчивость показана пунктиром (Лебедев, Костяной, 2005). Обработка альтиметрических данных для периода с января 2004 г. по июнь 2006 г. выполнена специально для данного доклада.

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

(1956–1970 гг.) этот размах был значительно меньше (2,2‰). На южной границе Северного Каспия (разрез о. Чечень — п-ов Мангышлак) при уменьшении водности Волги в 1950–1970 гг. произошло повышение солености в поверхностном слое 0–10 м на 0,5–0,8‰. Однако с увеличением стока в 1980-х годах соленость здесь уменьшилась на 0,5–0,6‰ (Гидрометеорология..., 1992).

*Температура поверхности моря.* Анализ спутниковых NODS/MCSST-данных выявил положительный тренд средней по Среднему и Южному Каспию температуры поверхности моря в 1982–2000 гг. (рис. 2.9.17): 0,05 и 0,10°C в год соответственно (Гинзбург и др., 2004; Ginzburg et al., 2005). Долговременный тренд для Северного Каспия не мог быть получен из-за отсутствия данных для зимнего сезона вследствие покрытия этого



**Рис. 2.9.17.** Межгодовая изменчивость недельных значений температуры поверхности Среднего (а) и Южного (б) Каспия с ноября 1981 г. по декабрь 2000 г. Прямая линия — тренд температуры поверхности моря в рассматриваемый период (Гинзбург и др., 2004).

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

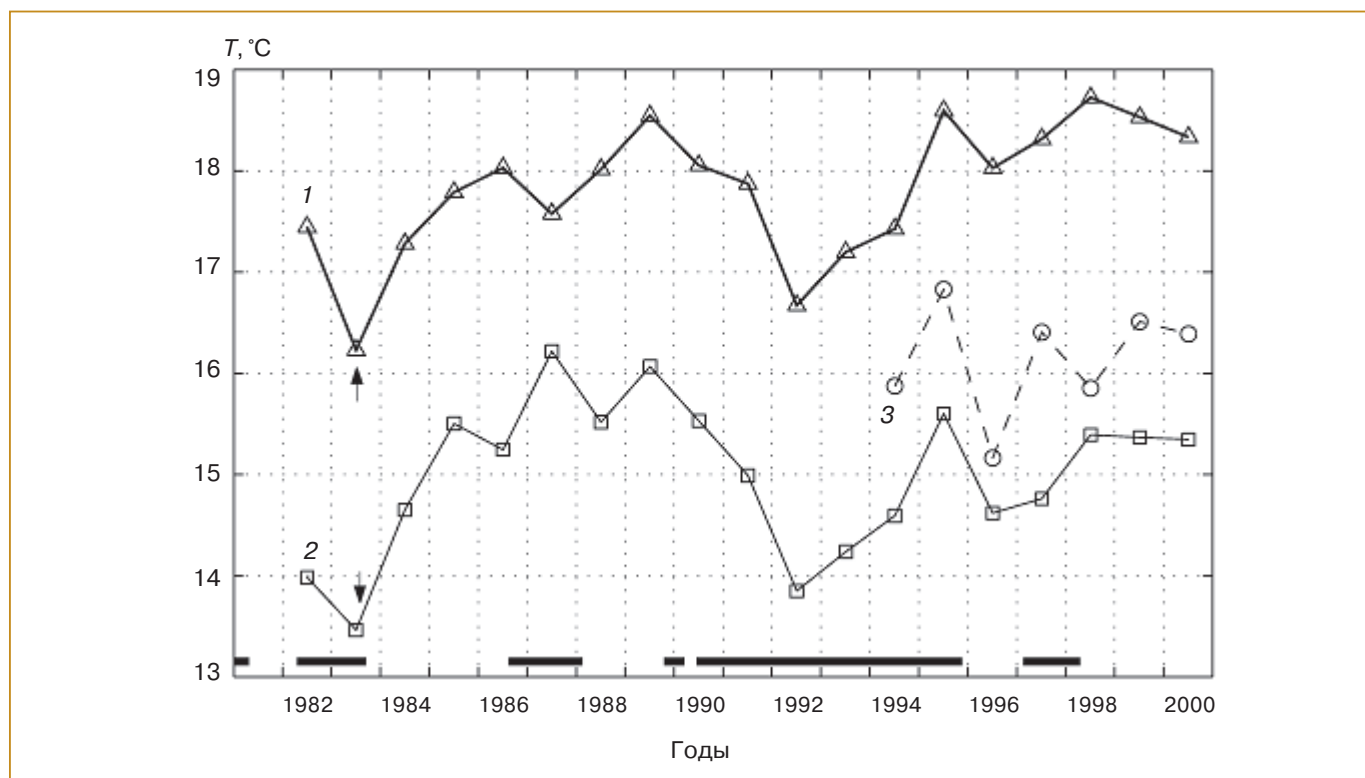
района моря льдом. Однако, судя по увеличению летом температуры поверхности моря после 1992 г. и теплым зимам (Kougaev et al., 2003), здесь в 1982–2000 гг. происходило потепление. В пределах этого периода, однако, тенденция к потеплению не была монотонной (рис. 2.9.18). Самые резкие изменения среднегодовой температуры поверхности моря имели место в 1989–1995 гг.: ее понижение в 1989–1992 гг. и повышение в 1992–1995 гг. (минимум 1983 г. — артефакт, связанный с недостаточной обеспеченностью данными). Потепление Среднего и Южного Каспия в 1982–2000 гг. происходило во все сезоны, причем наибольший положительный тренд (0,06 и 0,09°C/год в Среднем и Южном Каспии соответственно) наблюдался в летний сезон (июль – сентябрь), наименьший 0,03°C/год — в осенний (октябрь – декабрь).

Средняя годовая температура поверхности моря в 1982–2000 гг. повысилась по сравнению с ее значением до 1952 г. (Архипова, 1955; Архипова и др., 1958) примерно на 1°C в Среднем и Южном Каспии; заметно увеличилась максимальная (лето) и минимальная (зима) температура поверхности моря, а годовой размах температуры поверхности моря (разность между максимальной летом и минимальной зимой температурой) слегка уменьшил-

ся. Положительный тренд температуры поверхности моря в 1982–2000 гг. в несколько раз превысил таковой в предшествующий период — примерно 0,01°C/год (Потайчук, 1975; Гидрометеорология..., 1992).

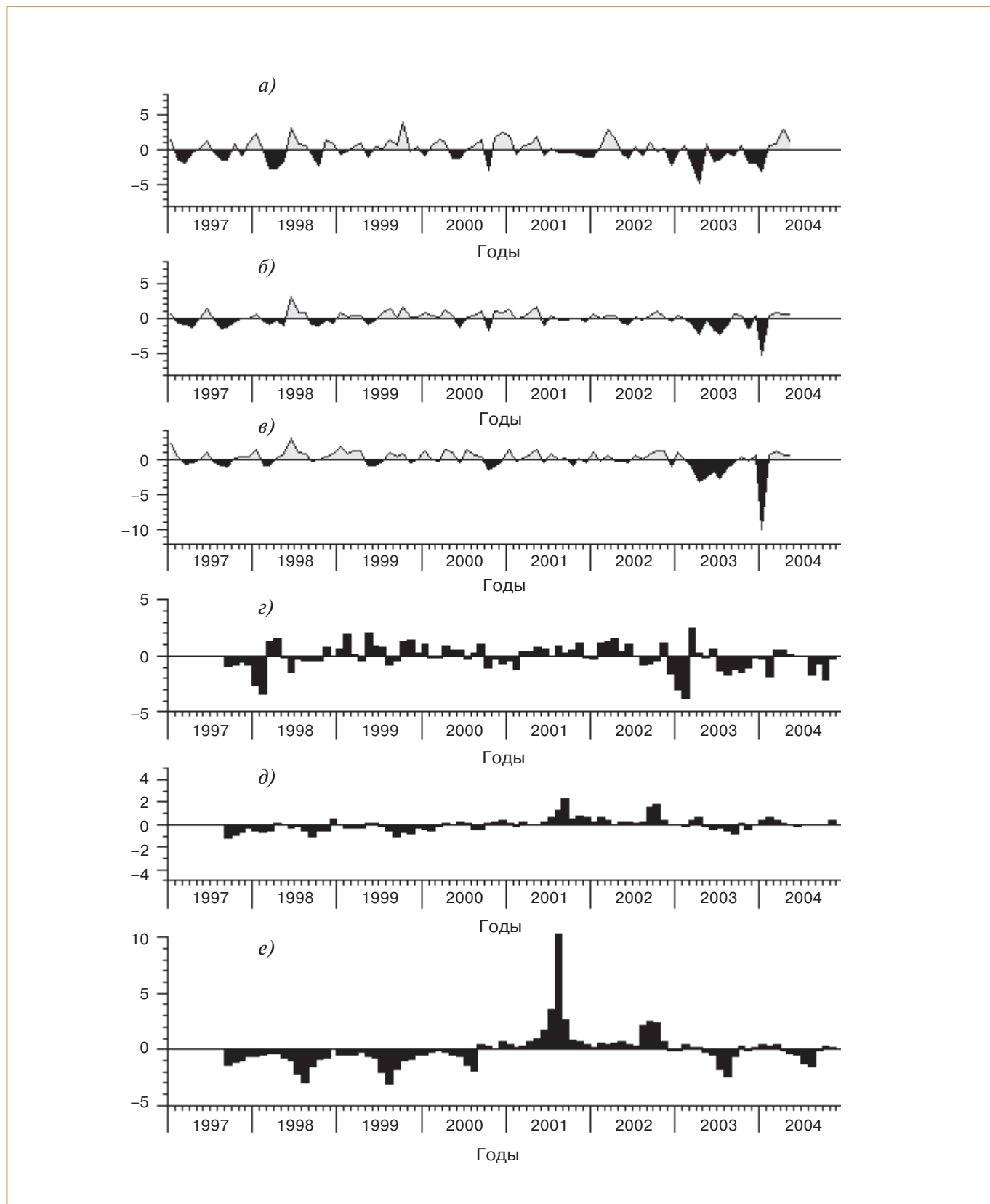
Характер изменений температуры поверхности моря в 1982–2000 гг. в близких по географическому положению внутренних Каспийском и Черном морях был сходным (Гинзбург и др., 2004; Ginzburg et al., 2004, 2005, 2008) (см. рис. 2.9.4, 2.9.18). Близкие по значению положительные тренды температуры поверхности моря, уменьшение их среднегодовых значений в 1985–1993 гг. и их последующее увеличение, одинаковый характер четко выраженных сезонных аномалий температуры поверхности моря свидетельствуют об определяющей роли климатических факторов в межгодовой и десятилетней изменчивости температуры поверхности моря обеих морей. Потепление в 1980-е годы было зарегистрировано также в Северо-Восточной Атлантике — рост на 1°C в 1982–1987 гг. (Djenidi et al., 2000), а также в ряде регионов Средиземного моря в 1984–1990 гг. (Santoleri et al., 1994; Kostianou, 1996).

*Плотность биомассы фитопланктона.* Поверхность Каспийского моря была разделена на три



**Рис. 2.9.18.** Среднегодовые значения средней для районов Каспия ТПМ в 1982–2000 гг. (Гинзбург и др., 2004). 1 — Южный Каспий; 2 — Средний Каспий; 3 — Кара-Богаз-Гол. Жирными отрезками на горизонтальной оси отмечены периоды Эль-Ниньо. Стрелками отмечены заниженные значения температуры поверхности моря (из-за недостаточной обеспеченности данными).

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.



**Рис. 2.9.19.** Межгодовая изменчивость сезонных аномалий температуры поверхности моря (°C) в Северном (а), Среднем (б) и Южном (в) Каспии, а также сезонных аномалий концентрации хлорофилла (мг/м<sup>3</sup>) в Северном (г), Среднем (д) и Южном (е) Каспии (Nezlin, 2005).



района, имеющие сходные природные условия и характер сезонных и многолетних изменений концентрации хлорофилла в поверхностном слое: Северный, Средний и Южный Каспий, с границами между ними приблизительно по 44 и 40° с. ш. (Nezlin, 2005).

Особенно большие концентрации хлорофилла наблюдались в мелководном Северном Каспии, с максимумом около 8 мг/м<sup>3</sup> в наиболее теплое время года (август), на три месяца позже максимума стока Волги. В Среднем и Южном Каспии концентрация хлорофилла была значительно меньше. Сезонный максимум концентрации хлорофилла в этих районах также отмечался в конце лета и совпадал по времени с максимальным напряжением ветра, что указывает на обогащение фотосинтезирующего верхнего слоя моря питательными биогенными веществами вследствие ветрового перемешивания.

Межгодовые изменения температуры поверхности Каспия в 1997–2004 гг. не дают основания для выделения положительного температурного тренда в этот период (рис. 2.9.19а, б, в). Более того, в 2003–2004 гг. наблюдались значительные отрицательные аномалии температуры поверхности моря. Межгодовые изменения концентрации хлорофилла в Северном Каспии не были скоррелированы с аналогичными процессами в Среднем и Южном Каспии. В двух последних районах, напротив, изменения концентрации хлорофилла были скоррелированы с большой степенью достоверности ( $R = 0,832$ ), причем изменения в Южном Каспии отставали от изменений в Среднем Каспии на один месяц. Это связано с распространением биогенных веществ, поступающих с волжским стоком, с севера на юг в соответствии с преобладающей циклонической циркуляцией вод в Каспийском море. На влияние стока Волги также указывает корреляция концентрации хлорофилла в Северном и Южном Каспии с волжским стоком с задержкой в 2–3 месяца. На концентрацию хлорофилла оказывают влияние напряжение ветра и температура поверхности моря, обуславливающие термическую стратификацию обогащенного биогенными веществами верхнего фотосинтезирующего слоя и тем самым удержание в нем клеток фитопланктона. Однако заметное увеличение концентрации хлорофилла в Южном Каспии летом 2001 г. (рис. 2.9.19е) не было связано с физическими факторами, такими как температура поверхности моря и ветер. Возможно, что резкое увеличение биомассы фитопланктона в данном случае имело биологическую природу. Именно в это время в Среднем и Южном Каспии было отмечено массовое развитие вселенца гребневика *Mnemiopsis leidyi* (Kideys, Moghim, 2003), интенсивно поедающего зоопланктон, что могло привести к резкой разбалансировке пелагической эко-

системы. Эта гипотеза, однако, требует дальнейших наблюдений и анализа.

### 2.9.5. Литература

- Абузяров З. К., 2003. Технология прогноза тенденций изменения уровня Каспийского моря на перспективу 6 и 18 лет, в кн.: Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна, СПб, Гидрометеиздат, с. 351–363.
- Архипова Е. Г., 1955. Термический режим Северного Каспия и его возможные изменения в связи с падением уровня моря, Труды ГОИН, вып. 20, с. 337–395.
- Архипова Е. Г., Любанский В. А., Резникова Л. П., 1958. Основные особенности температурного режима Каспийского моря и его районов, Труды ГОИН, вып. 43, с. 53–100.
- Виноградов М. Е., Шушкина Э. А., Анохина Л. Л., Востоков С. В., Кучерук Н. В., Лукашова Т. А., 2000. Массовое развитие гребневика *Beroe ovata Eschscholtz* у северо-восточного побережья Черного моря, Океанология, т. 40, № 1, с. 52–55.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР, 1991а. Проект “Моря СССР”, т. V, Азовское море, СПб, Гидрометеиздат, 236 с.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР, 1991б. Проект “Моря СССР”, т. IV, Черное море, вып. 1, Гидрометеорологические условия, СПб, Гидрометеиздат, 429 с.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР, 1992. Проект “Моря СССР”, т. VI, Каспийское море, вып. 1, Гидрометеорологические условия, СПб, Гидрометеиздат, 359 с.
- Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Шеремет Н. А., 2004. Сезонная и межгодовая изменчивость температуры поверхности Каспийского моря, Океанология, т. 44, № 5, с. 645–659.
- Горячкин Ю. Н., Иванов В. А., 2006. Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее, Севастополь, МГИ НАНУ, 210 с.
- Дьяков Н. Н., Горбач С. Б., Фомин В. В., Ильин Ю. П., 2006. Современная термохалинная структура вод Азовского моря, в сб.: Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа, Севастополь, МГИ НАНУ, ИГН НАНУ, ОФ ИНБИОМ НАНУ, вып. 14, с. 215–224.
- Комплексная программа по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в регионе Каспийского моря (Каспас), 1997. Женева, ВМО, 21 с.
- Лебедев С. А., Костяной А. Г., 2004. Спутниковая альтиметрия Каспийского моря, Вестник Каспия, № 3, с. 82–101.
- Лебедев С. А., Костяной А. Г., 2005. Спутниковая альтиметрия Каспийского моря, М., Море, 366 с.

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

- Потайчук М. С., 1975.** Многолетние изменения гидрометеорологического режима Каспийского моря, Труды ГОИН, вып. 125, с. 95–123.
- Рева Ю. А., 1997.** Межгодовые колебания уровня Черного моря, Океанология, т. 37, № 2, с. 211–219.
- Терзиев Ф. С., 2005.** Проект “Моря”. Система гидрометеорологического обеспечения экономики и обороны, Труды ГОИН, вып. 209, с. 31–55.
- Терзиев Ф. С., Никонова Р. Е., 2003.** Некоторые итоги изучения современного состояния гидрометеорологического режима Каспийского моря и перспективы дальнейших исследований, в кн.: Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна, СПб, Гидрометеоиздат, с. 239–253.
- Фролов А. В., 2003.** Моделирование многолетних колебаний уровня Каспийского моря, М., ГЕОС, 171 с.
- Djenidi S., Kostianoy A. G., Sheremet N. A., and El moussaoni A., 2000.** Seasonal and interannual SST variability of the north-east Atlantic Ocean, in: Oceanic Fronts and Related Phenomena (Konstantin Fedorov International Memorial Symposium), IOC Workshop, Report No. 159, UNESCO, Moscow, GEOS, pp. 99–105.
- Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., and Sheremet N. A., 2004.** Seasonal and interannual variability of the Black Sea surface temperature as revealed from satellite data (1981–2000), J. Marine Systems, vol. 52, No. 1–4, pp. 33–50.
- Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., and Sheremet N. A., 2005.** Sea surface temperature variability, in: The Caspian Sea Environment, Kostianoy A. and Kosarev A. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, vol. 5p, doi:10.1007/698\_5\_004, pp. 59–81.
- Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., and Sheremet N. A., 2008.** Sea surface temperature variability, in: The Black Sea Environment, Kostianoy A. and Kosarev A. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, vol. 5Q, doi:10.1007/698\_5\_067, pp. 255–275.
- Kideys A. E. and Moghim M., 2003.** Distribution of the alien ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in the Caspian Sea in August 2001, Marine Biology, vol. 142, pp. 163–171.
- Korotaev G. K., Saenko O. A., and Koblinsky C. J., 2001.** Satellite altimetry observations of the Black Sea level, J. Geophys. Res., vol. 106, No. C1, doi: 10.1029/2000JC900120, pp. 917–934.
- Kosarev A. N. and Kostianoy A. G., 2005.** Kara-Bogaz-Gol Bay, in: The Caspian Sea Environment, Kostianoy A. and Kosarev A. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, vol. 5p, doi:10.1007/698\_5\_011, pp. 211–221.
- Kosarev A. N., Arkhipkin V. S., and Surkova G. V., 2008a.** Hydrometeorological conditions, in: The Black Sea Environment, Kostianoy A. and Kosarev A. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, vol. 5Q, doi:10.1007/698\_5\_086, pp. 135–158.
- Kosarev A. N., Kostianoy A. G., and Shiganova T. A., 2008b.** The Azov Sea, in: The Black Sea Environment, Kostianoy A. and Kosarev A. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, vol. 5Q, doi:10.1007/698\_5\_091, pp. 63–89.
- Kostianoy A. G., 1996.** Investigation of the Sicilian upwelling on the base of satellite data, Technical Report, Stazione Oceanografica CNR, La Spezia, Italy, 99 p.
- Kouraev A. V., Papa F., Buharizin P. I., Cazeneuve A., Cretaux J.-F., Dozortseva J., and Remy F., 2003.** Ice cover variability in the Caspian and Aral seas from active and passive microwave satellite data, Polar Research, vol. 21, No. 1, pp. 43–50.
- Levitus S., Antonov J. I., Boyer T. P., and Stephens C., 2000.** Warming of the World Ocean, Science, vol. 287, No. 5461, pp. 2225–2229.
- Matishov G., Matishov D., Gargopa G., Dashkevich L., Berdnikov S., Baranova O., and Smolyar I., 2006.** Climatic Atlas of the Sea of Azov 2006, Matishov G. and Levitus S. (eds.), NOAA Atlas NESDIS 59, U.S. Government Printing Office, Washington DC, 148 p., <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/AZOV2006/start.html>.
- Mikaelyan A. S., 1995.** Winter bloom of the diatom *Nitzschia delicatula* in the open waters of the Black Sea, Marine Ecology, Progress Series, vol. 129, pp. 241–251.
- Mikhailov V. N. and Mikhailova M. V., 2008.** River mouths, in: The Black Sea Environment, Kostianoy A. and Kosarev A. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, vol. 5Q, doi:10.1007/698\_5\_061, pp. 91–133.
- Nezlin N. P., 2005.** Patterns of seasonal and interannual variability of remotely sensed chlorophyll, in: The Caspian Sea Environment, Kostianoy A. G. and Kosarev A. N. (eds.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 143–158.
- Nezlin N. P., 2008.** Seasonal and interannual variability of remotely sensed chlorophyll, in: The Black Sea Environment, Kostianoy A. G. and Kosarev A. N. (eds.), Springer-Verlag, vol. 5Q, doi: 10.1007/698\_5\_063, pp. 333–349.
- Oguz T., 2005.** Black Sea ecosystem response to climatic teleconnections, Oceanography, vol. 18, No. 2, pp. 122–133.
- Oguz T., Dippner J. W., and Kaymaz Z., 2006.** Climatic regulation of the Black Sea hydro-meteorological and ecological properties at inter-annual-to-decadal time scales, J. Marine Systems, vol. 60, pp. 235–254.

- Rayner N. A., Parker D. E., Horton E. B., Folland C. K., Alexander L. V., Rowell D. P., Kent E. C., and Kaplan A., 2003. Global analysis of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century, *J. Geophys. Res.*, vol. 108, No. D14, 4407, doi:10.1029/2002JD002670, pp. ACL 2-1-2-22,.
- Santolero R., Bohm E., and Schiano M. E., 1994. The sea surface temperature of the western Mediterranean Sea: Historical satellite thermal data, *Coastal and Estuarine Studies*, vol. 46, pp. 155–176.
- Shiganova T. A., Mirzoyan Z. A., Studenikina E. A., Volovik S. P., Siokou-Frangou I., Zervoudaki S., Christou E. D., Skirta A. Y., and Dumont H. J., 2001. Population development of the invader ctenofore *Mnemiopsis leidyi* in the Black Sea and in other seas of the Mediterranean basin, *Marine Biology*, vol. 139, pp. 431–445, doi:10.1007/s002270100554.
- Shokurova I. G. and Belokopytov V. N., 2006. Interdecadal variability of temperature and salinity in the Black Sea, in: Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution, 1st Biannual Scientific Conf. “Black Sea Ecosystem 2005 and Beyond”, Abstracts, Istanbul, Turkey, p. 18.
- Transboundary Diagnostic Analysis for the Caspian Sea, 2002. Vol. II, Caspian Environment Programme, Baku, Azerbaijan, 132 p., [http://enrin.grida.no/caspian/additional\\_info/Caspian\\_TDA\\_Volume\\_Two.pdf](http://enrin.grida.no/caspian/additional_info/Caspian_TDA_Volume_Two.pdf).
- Vigo I., Garcia D., and Chao B. F., 2005. Change of sea level trend in the Mediterranean and Black seas, *J. Marine Res.*, vol. 63, No. 6, pp. 1085–1100, doi: 10.1357/002224005775247607.

### 2.10. ПОСЛЕДСТВИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

*Ведущие авторы:* Л. И. Болтнева, В. В. Оганесян, Б. Г. Шерстюков

*Авторы:* Е. К. Зойдзе, А. А. Коршунов, П. М. Лурье, В. Д. Панов, В. А. Семенов

*Редактор-рецензент:* Д. Б. Киктев

#### 2.10.1. Общая характеристика

К широкомасштабным последствиям экстремальных метеорологических явлений относятся засухи, наводнения и лесные пожары, наносящие существенный ущерб (в том числе экономический) России в масштабах целых регионов. Они будут подробно рассмотрены в данном разделе для XX века и начала XXI века. Однако в целом проблема ущерба от экстремальных метеорологических явлений этим не ограничивается. В данном разделе на примере Большого Кавказа будут также рассмотрены вопросы опасности селей и лавин в горной местности. Имея локальный пространственный масштаб, они сопряжены с существенным риском для жизни людей, их жилищ и технических сооружений.

Ущерб, наносимый мировой экономике экстремальными гидрометеорологическими явлениями, по оценкам экспертов ООН, составляет 70% суммарного ущерба от воздействия природных катастроф и стихийных бедствий (Бедрицкий и др., 2004). В мире за последние годы XX века свыше 1100 млн. человек оказались жертвами стихийных бедствий, нанесящих ущерб более чем в 730 млрд. долл.; 95% числа людей, погибших от природных катаклизмов, пришлось на развивающиеся страны, а материальный ущерб в процентах от валового внутреннего продукта (ВВП) в них более чем в 20

раз превысил аналогичные показатели для развитых стран (World Meteorological Organization, 1994).

В табл. 2.10.1 приведены данные по США об ущербе от экстремальных метеорологических явлений из работ (Meyers and Cotton, 1992; Golden and Bluestein, 1994; Maglaras et al., 1995; Chen et al., 1996; Adams and Comrie, 1997; Changnon and Changnon, 1997; Changnon et al., 1997; Pielke, 1997; Parish et al., 1997; Kutiel and Maheras, 1998; Pielke et al., 2000).

Восемь факторов, указанных в табл. 2.10.1, считаются основными, приводящими к экономическому и социальному ущербу на территории США. Наибольший социально-экономический ущерб по данным этой таблицы связан с экстремальным похолоданием.

Большой экономический ущерб России причиняют наводнения, шквалы, смерчи, ветер, ливни, грозы, град. Материальный ущерб в 15 млрд. руб. причинен катастрофическими наводнениями летом 2002 г. в Южном федеральном округе. Общий ущерб в 5,9 млрд. руб. был причинен катастрофическим наводнением заторного происхождения в 2001 г. в Сибири на Верхней и Средней Лене, Енисее, Ангаре, Нижней и Подкаменной Тунгуске (Малик, 2005).

На Европейской территории России в период 1991–2000 гг. наблюдалась тенденция к увеличению общего числа явлений, обусловленных ветром разрушительной силы. Экономический ущерб более 22 млрд. руб. причинили шквалы, смерчи, ливни, град, грозы 24–28 июня 1996 г. в 7 субъектах РФ (республики Марий Эл, Чувашская, Мордовия; Пензенская, Нижегородская, Ярославская, Тверская области). Шквалы в сочетании с грозами, ливнями, градом 19–22 июня 1998 г. в 10 субъектах РФ нанесли крупный материальный ущерб. Ущерб