

УДК 551.463 + 464  
DOI: 10.7868/S25000640180407

## ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОД И ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ СУХУМСКОЙ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ

©2018 г. Р.С. Дбар<sup>1,2</sup>, Я.В. Гицба<sup>1,2</sup>, Я.А. Экба<sup>1,2</sup>

**Аннотация.** С применением методов математической статистики обработан массив данных длительного мониторинга температуры (1994–2016 гг.) и концентрации кислорода (1999–2010 гг.) в поверхностном слое воды прибрежной зоны сухумской акватории Черного моря. Вычислены значения среднемесячных и среднегодовых температур морской воды, концентрации кислорода и его биохимической потребности (БПК), а также показатели коэффициентов парной корреляции. Полученные статистические данные позволили выявить значимую корреляцию среднесезонных и среднемесячных изменений концентраций кислорода, величин БПК<sub>5</sub> с интенсивностью фотосинтеза фитопланктона. В теплый сезон на термический режим поверхностного слоя сухумской акватории Черного моря наибольшее влияние оказывает солнечная энергия и тепло-воздухообмен с более прогретой поверхностью суши. Наибольшее повышение среднемесячной температуры воды за исследованный период по сравнению с климатической нормой отмечено для июля (2,2 °С). Для самого холодного месяца – февраля – характерно понижение температуры на 0,2 °С. Повышение температуры морских вод на 2–3 °С приводит к эвтрофикации и ухудшению условий обитания гидробионтов. Коэффициент корреляции между содержанием растворенного кислорода и температурой морской воды равен  $r = -0,70$ . Коэффициент корреляции температур воздуха и морской воды составляет  $r = 0,62-0,77$  и изменяется в зависимости от сезона года. Слабая корреляционная зависимость ( $r = -0,1$ ) наблюдается зимой, существенная корреляционная зависимость ( $r = -0,98$ ) – летом.

**Ключевые слова:** Черное море, побережье Абхазии, температура воды, концентрация кислорода, эвтрофикация, биохимическое потребление кислорода.

### THERMAL REGIME OF THE WATER SURFACE LAYER AND OXIDATIVE PROCESSES IN THE COASTAL ZONE OF THE SUKHUM AREA OF THE BLACK SEA

R.S. Dbar<sup>1,2</sup>, Ya.V. Gitsba<sup>1,2</sup>, Ya.A. Ekba<sup>1,2</sup>

**Abstract.** Using the methods of mathematical statistics, an array of data of long-term monitoring of temperature and oxygen concentration in the surface water layer of the coastal zone of the Sukhum water area of the Black Sea for 1994–2016 was processed. The values of average monthly and annual temperatures and oxygen concentrations and its biochemical demand (BOD), as well as the values of pair correlation coefficients, are calculated. The obtained statistical data allowed us to reveal a significant correlation of average seasonal and monthly changes in oxygen concentrations, BOD<sub>5</sub> values with the intensity of phytoplankton photosynthesis. It has been established that in the warm season, the thermal regime of the surface layer of the Sukhumi water area of the Black Sea is most affected by solar energy of surface waters and air- and heat-exchange with a warmer land surface. The greatest increase in the average monthly water temperature compared with the climatic norm is typical for July (2.2 °C). The coldest month of February is characterized by a decrease in temperature by 0.2 °C. An increase in the temperature of sea waters by 2–3 °C leads to eutrophication and deterioration of the habitat conditions of hydrobionts. The correlation coefficient between oxygen concentration and water temperature is  $r = -0.70$ . The correlation coefficient of air and sea water temperatures is  $r = 0.62-0.77$ . They vary widely depending on the season of the year. The lowest value of the correlation coefficient ( $r = -0.1$ ) was registered in winter, the highest one ( $r = -0.98$ ) in summer.

**Keywords:** Black Sea, coast of Abkhazia, water temperature, oxygen concentration, eutrophication, biochemical oxygen demand.

<sup>1</sup> Институт экологии Академии наук Абхазии (Institute of Ecology of the Academy of Sciences of Abkhazia, Sukhum, Republic of Abkhazia), Республика Абхазия, г. Сухум, 384900, ул. Красномаякская, 67, e-mail: romandbar@mail.ru

<sup>2</sup> Абхазский государственный университет (Abkhazian State University, Sukhum, Republic of Abkhazia), Республика Абхазия, г. Сухум, 384900, ул. Университетская, 1

## ВВЕДЕНИЕ

Исследование экосистемы Черного моря в пределах территориальных вод Республики Абхазия – важная научная задача [1; 2], решение которой позволяет раскрыть некоторые региональные аспекты фундаментальной проблемы морских экосистем. Одними из важнейших факторов функционирования морских экосистем являются температурный режим поверхностного слоя и содержание в нем кислорода. В данной статье ставится задача исследовать изменения температуры и содержания кислорода в поверхностном слое вод прибрежной зоны сухумской акватории Черного моря по результатам их долговременного мониторинга.

Температурный режим Черного моря типичен для водоема умеренной зоны. Зимой воды поверхностного слоя всей северо-западной и северо-восточной части охлаждаются до 0 °С, при этом на мелководных участках шельфа и в бухтах образуется ледовый покров. Летом поверхностный слой прогревается до 24–27°С у берегов и до 21–23 °С в глубоководных районах [3].

Самая теплая часть Черного моря – юго-восточная. Кавказские горы не пропускают в этот район северные ветры. Средняя годовая температура поверхностного слоя моря у кавказского побережья колеблется в пределах 16,5–18 °С. В открытых частях моря амплитуда температурных колебаний значительно меньше, чем у побережий: зимний температурный минимум поверхностного слоя составляет 6,6 °С, летний температурный максимум – 27 °С [4].

В условиях регионального потепления [5] большой интерес представляет многолетняя изменчивость температуры поверхностного слоя прибрежной сухумской акватории Черного моря и ее влияние на концентрацию кислорода, обуславливающего характер и интенсивность окислительно-восстановительных процессов.

Содержание кислорода в поверхностном слое моря изменяется в зависимости от сезона года. Это обусловлено влиянием разных факторов – изменением температуры воды, поступлением или частичной отдачей кислорода в атмосферу при избыточном его содержании, затратами на дыхание организмов и окисление органических веществ [6].

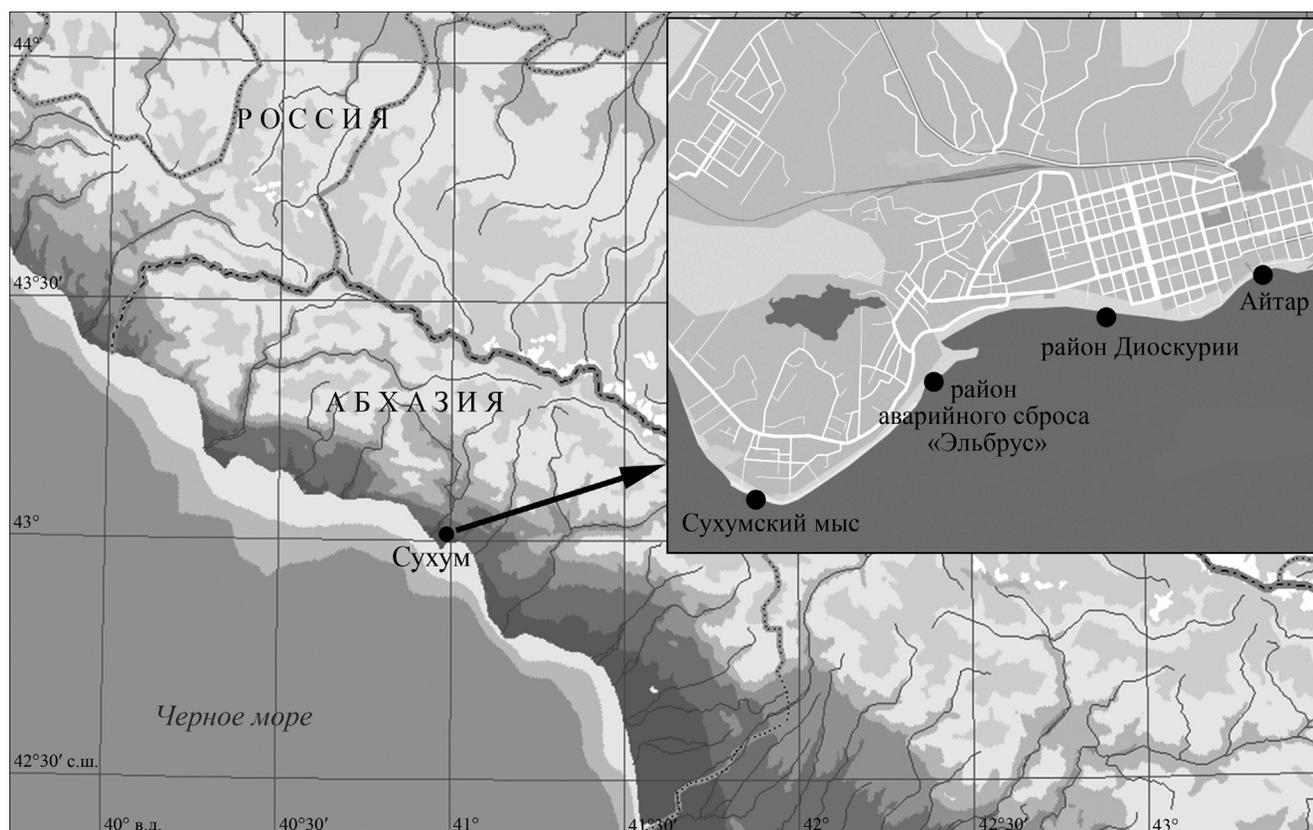


Рис. 1. Карта-схема отбора проб воды из поверхностного слоя прибрежной зоны сухумской акватории Черного моря.  
Fig. 1. The scheme of water sampling from the surface layer of the coastal zone of the Sukhum water area of the Black Sea.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Температуру морской воды измеряли в поверхностном слое на Сухумском мысе с оконечности причала, выступающего в море на 30 м, 4 раза в сутки: в 6:00, 12:00, 18:00 и 24:00 часа. Под температурой поверхностного слоя понимали температуру верхнего слоя морской воды на глубине не более 1 м в месте измерения, принимали ее за среднюю в этом слое и условно распространяли на прибрежную акваторию [7].

Измерение концентрации кислорода в морской акватории г. Сухум проводили со специалистами Абхазского государственного центра экологического мониторинга в начале и в середине каждого месяца. Пробы воды отбирали в пунктах Айтар, район крепости Диоскурия, район аварийного сброса «Эльбрус», на Сухумском мысе (территория Гидрофизического института Академии наук Абхазии). Пункты отбора проб выбраны с учетом степени антропогенного загрязнения акватории, на удалении от устьев рек (рис. 1).

Концентрацию кислорода в поверхностном слое морской воды определяли методом Винклера [8], который включен в программы государственного мониторинга Республики Абхазия с целью оценки условий обитания гидробионтов, в том числе рыб, косвенной характеристики качества воды, интенсивности процессов продуцирования и деструкции органических веществ, самоочищения водоемов. Предел обнаружения растворенного кислорода применяемым оборудованием – 0,05 мг/л [8].

При определении биохимической потребности кислорода (БПК) принимали, что БПК<sub>5</sub> составляет около 70 % БПК<sub>полн</sub>, но может изменяться от 10 до 90 % в зависимости от окисляющегося вещества.

Для получения объективной оценки гидрофизического и гидрохимического режимов сухумской акватории Черного моря с помощью статистических методов был обработан массив данных за 1994–2016 гг., что позволило вычислить значения среднемесячных и среднегодовых температур, концентрации кислорода и его биохимической потребности, а также коэффициенты корреляции.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате обработки массива данных за 1994–2016 гг. получено среднегодовое распределение температуры поверхностного слоя морской воды прибрежной сухумской акватории Черного

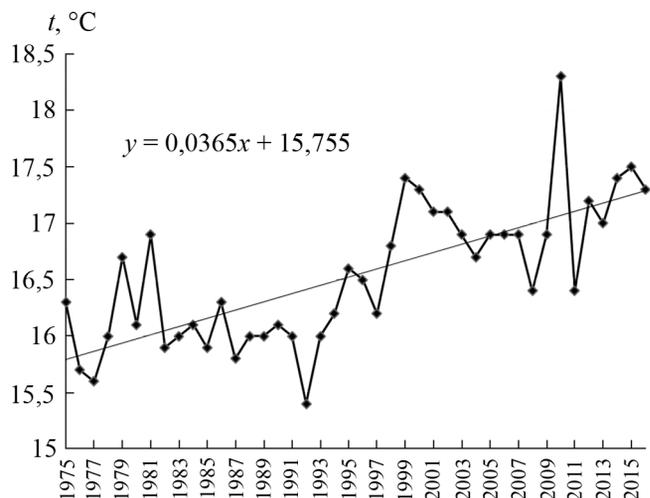


Рис. 2. Среднегодовое распределение температуры поверхностного слоя воды прибрежной зоны сухумской акватории Черного моря.

Fig. 2. Average annual temperature distribution of the surface layer of water in the coastal zone of the Sukhum water area of the Black Sea.

моря (рис. 2). Полученные данные показывают, что температура поверхностного слоя морской воды в этом районе на протяжении наблюдаемого периода времени имеет тенденцию к повышению. Минимальное среднегодовое значение температуры поверхностного слоя воды наблюдалось в 1992 г. (15,4 °C), максимальное – в 2010 г. (18,3 °C). В среднем за весь изученный период температура поверхностного слоя морской воды повысилась на 0,67 °C (рис. 2). Таким образом, скорость роста температуры составила 0,03 °C в год.

Существенное увеличение температуры воды (на 1,2 °C) отмечено с 1997 по 1999 г., что объясняется повышением температуры воздуха на 1,4 °C и уменьшением количества осадков на 200 мм в указанные годы. На среднегодовые значения температуры морской воды в 1999 и 2000 гг. оказало влияние небольшое количество осадков, выпавших в эти годы – 1454 и 1203 мм соответственно. На повышение среднегодовой температуры воды в 2009 г. до 16,9 °C могло оказать влияние минимальное количество осадков, выпавших в октябре (59,3 мм).

Минимальная среднемесячная температура воды поверхностного слоя сухумской акватории Черного моря в 1994–2016 гг. наблюдалась в феврале каждого года, ее среднее значение составило 8,7 °C (табл. 1).

Самая низкая февральская температура, 7,1 °C, была зафиксирована в 2008 г., когда в этом месяце

**Таблица 1.** Среднемесячные значения температуры воды поверхностного слоя прибрежной зоны сухумской акватории Черного моря (°С)**Table 1.** The average monthly temperature distribution of the surface water in the coastal zone of the Sukhum water area of the Black Sea (°C)

Год Year	Месяц / Month											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1994	8,8	8,1	8,9	12,8	16,0	20,3	24,0	24,6	24,6	21,9	15,3	10,8
1995	9,6	9,3	9,7	11	16,3	21,9	24,8	25,0	24,7	19,3	15,6	11,7
1996	9,8	8,8	8,5	10,2	16,1	20,5	25,8	25,8	23,4	20,0	15,5	14,1
1997	10,9	8,5	7,8	9,7	16,8	20,9	24,9	25,0	22,1	19,4	16,0	12,7
1998	9,5	8,1	8,4	12,4	16,4	22,5	24,8	27,1	23,7	20,1	15,6	13,0
1999	10,7	9,6	10,8	12,4	16,0	22,3	26,2	27,8	24,1	21,2	15,4	11,7
2000	9,6	8,8	8,9	13,6	17,7	22,0	25,6	25,4	24,8	20,6	16,9	13,7
2001	10,9	9,5	10,8	12,3	16,1	19,4	25,7	27,9	24,6	20,7	15,6	11,8
2002	8,6	8,1	9,1	11,6	17,4	21,6	25,8	26,1	24,3	22,0	17,5	13,2
2003	10,0	9,2	8,8	10,4	17,8	22,0	25,2	25,9	24,4	21,3	15,2	12,7
2004	10,9	9,5	10,2	12,7	16,9	21,4	24,1	25,2	23,5	20,1	15,2	11,0
2005	9,4	9,2	9,4	11,6	16,3	20,7	25,4	26,8	24,4	20,3	15,8	13,0
2006	9,4	8,1	9,3	12,4	15,9	22,8	24,2	26,7	24,0	20,9	16,8	12,2
2007	8,7	8,4	9,1	10,9	17,5	22,7	27,1	26,8	24,9	20,4	15,3	11,1
2008	8,0	7,1	9,2	13,1	16,4	20,7	24,6	25,9	23,7	19,8	16,0	12,2
2009	9,2	9,5	9,8	11,8	16,2	22,1	25,9	25,0	23,7	20,6	16,4	13,1
2010	11,1	9,6	9,1	12,2	17,1	23,1	26,5	27,1	26,0	21,6	19,2	16,6
2011	11,1	8,1	9,7	12,4	15,0	21,7	25,0	26,2	23,8	18,9	13,8	10,8
2012	9,4	7,6	7,5	10,7	17,6	22,5	25,8	27,3	24,3	21,6	17,9	13,6
2013	9,8	9,5	9,5	12,1	19,3	23,2	25,2	25,9	23,4	18,4	16,0	11,6
2014	9,4	9,7	10,5	12,7	18,2	21,6	25,6	27,5	25,7	20,0	15,7	12,6
2015	10,9	10,3	9,9	10,3	15,8	21,7	24,6	27,6	26,2	22,3	16,5	14,3
2016	9,9	9,4	10,6	12,6	16,8	22,5	26,1	27,6	25,0	19,9	16,0	10,6
Среднее / Average	9,8	8,7	9,4	11,8	16,8	21,7	25,3	26,4	24,3	20,5	16,2	12,6
Максимальное /Max	11,1	10,3	10,8	13,6	19,3	23,2	27,1	27,9	26,2	22,3	19,2	16,6
Минимальное /Min	8,0	7,1	7,8	9,7	15,0	20,3	24,0	24,6	22,1	18,4	18,4	10,6

выпало наибольшее количество осадков (203,3 мм); самая высокая, 9,5 °С, – в 2001, 2004, 2009, 2015 гг.

В юго-восточной части черноморской акватории максимальная температура наблюдается в августе, минимальная в феврале, но, как следует из таблицы 1, в 2000, 2007, 2009, 2015 гг. максимальная температура зарегистрирована в июле, минимальная в 1996 и 1997 гг. – в марте, в 2009 г. – в январе. Такое распределение не является типичным, но оказалось, что прогревание поверхностного слоя морских вод раньше обычного приводит к более высоким значениям среднегодовых температур.

Наибольшая амплитуда колебаний температуры морской воды зафиксирована в апреле (3,9 °С), что объясняется нарушением термической ста-

бильности моря из-за увеличения речного стока, турбулентного перемешивания и прогревания поверхностных вод. В апреле также зарегистрирована высокая амплитуда колебаний температуры воздуха (7,1 °С). Наименьшая амплитуда колебаний температуры воды, наблюдаемая в мае (1,9 °С) и ноябре (2,3 °С), объясняется невысокими амплитудами колебаний температуры воздуха в эти месяцы – 4,5 и 5,7 °С соответственно.

В 2001 г. зарегистрированы высокие значения температур в январе и августе, вследствие чего наблюдалась высокая среднегодовая температура воды. В 2008 г. зафиксированы самые низкие значения температуры в зимний период по сравнению с другими годами, в результате в этом году наблю-

далась низкая среднегодовая температура воды. В 1999 г. отмечены высокие температуры в феврале и марте, чем объясняется максимальная среднегодовая температура воды за период 1994–2009 гг. (рис. 2).

За счет большой теплоемкости водных масс и непрерывно происходящих процессов турбулентного перемешивания вод в летние месяцы в море аккумулируется огромное количество поступившего на его поверхность солнечного тепла. Поэтому с конца августа по март море значительно теплее суши и температура воздуха над морем оказывается в эти месяцы выше температуры воздуха над береговой зоной. Но уже в апреле при начинающемся интенсивном потоке солнечной радиации поверхность суши быстро прогревается, становится теплее поверхности моря, что обуславливает некоторое понижение температуры воздуха над морем по сравнению с температурой воздуха над сушей. Коэффициент корреляции между среднемесячными значениями температуры воды и воздуха составляет 0,95. Корреляционная связь между среднегодовыми значениями температуры воды и воздуха за период 1994–2016 гг. меньше ( $r = 0,71$ ).

Тесная корреляционная связь между температурами морской воды и воздуха обнаружена в основном с марта по август, то есть она характерна для теплого периода года, когда наблюдается более интенсивное прогревание поверхностных вод, и в это время на термический режим моря в основном оказывает влияние температура воздуха. В остальные сезоны на термический режим моря влияют другие факторы, например осенью – атмосферные осадки, в зимний период наряду с осадками значительное влияние оказывают гидродинамические процессы в море.

Для выявления тенденций термического режима морской воды было проведено сопоставление среднемесячных значений температуры за период 1994–2015 гг. с данными за более ранний период (1960–1985 гг.) и вычислена разность температур по месяцам в вышеназванные периоды (рис. 3).

За последний период наблюдается тенденция повышения среднемесячных значений температуры морской воды. Наибольшее увеличение среднемесячной температуры воды отмечено в августе (1,3 °C). Для самого холодного месяца года – февраля – характерно повышение температуры на 0,2 °C. Наибольшее потепление морских вод наблюдается в летний период.

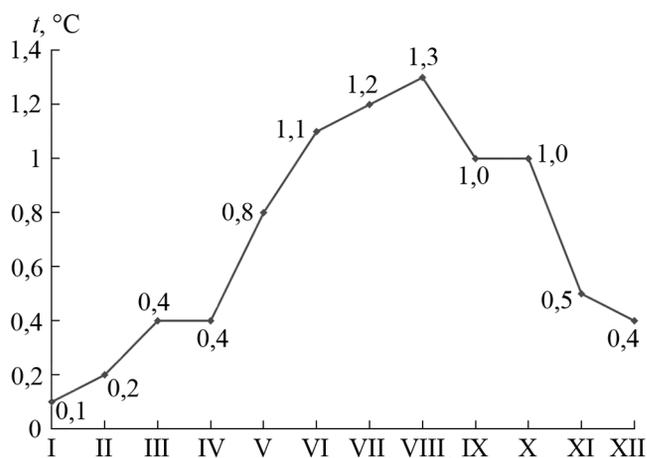


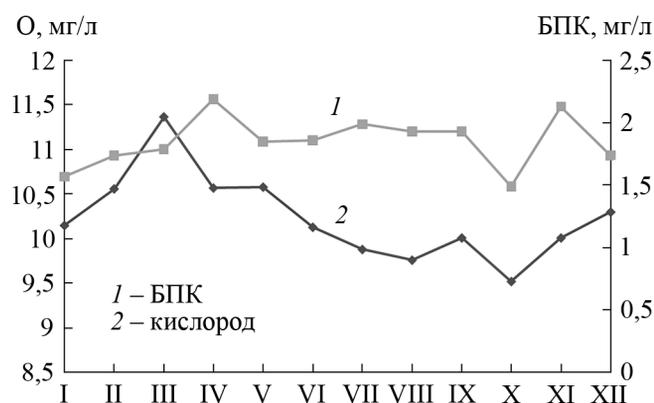
Рис. 3. Разность температур поверхностного слоя воды прибрежной зоны сухумской акватории Черного моря по месяцам за период 1994–2016 гг. по сравнению с 1960–1985 гг.

Fig. 3. The trend of changes in the average monthly temperature of the surface layer of water in the coastal zone of the Sukhum water area of the Black Sea for the last period (1994–2016) compared with the previous one (1960–1985).

Колебания температуры с начала 1990-х гг. играют определенную роль в экосистеме морской акватории г. Сухум и могут влиять на биохимические процессы, происходящие в воде. Повышение средней температуры морских вод, особенно летом, на 2–3 °C приводит к уменьшению растворимости кислорода, а потребление его увеличивается, поскольку с ростом температуры усиливается активность аэробных бактерий, разлагающих органическое вещество. Возрастает видовое разнообразие поли- и мезосапробных представителей фитопланктона, что приводит к эвтрофикации вод и ухудшению условий обитания других гидробионтов [9].

Вследствие расширения антропогенной деятельности на побережье Черного моря отдельные участки моря подвергаются эвтрофикации. Одним из последствий этого является повышение биологической продуктивности, что приводит к прямому ухудшению качества вод и косвенно к обогащению дна органическими остатками. Органическое вещество и все процессы, влияющие на его превращения в море, являются главными факторами, определяющими особенности химического состава вод Черного моря [10].

Главными источниками поступления кислорода в поверхностные воды являются процессы абсорбции его из атмосферы и продуцирование в результате фотосинтетической деятельности водных организмов. Абсорбция кислорода из атмосферы происходит на поверхности водоема. Скорость этого процесса повышается с уменьшением тем-

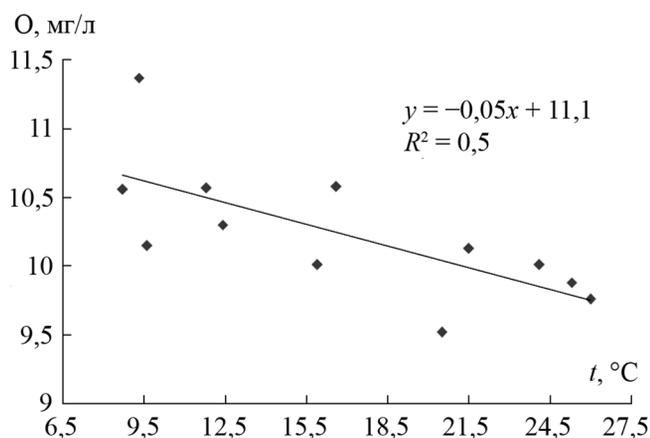


**Рис. 4.** Среднемесячное распределение растворенного кислорода и БПК в воде поверхностного слоя прибрежной зоны сухумской акватории Черного моря в 1999–2010 гг.

**Fig. 4.** The average monthly distribution of dissolved oxygen and BOD in the water of the surface layer in the coastal zone of the Sukhum water area of the Black Sea for 1999–2010.

пературы, понижением степени насыщения воды кислородом и повышением атмосферного давления. Кислородный режим оказывает существенное влияние на жизнь водоема. Минимальное содержание растворенного кислорода, обеспечивающее нормальное развитие рыб, составляет около 5 мг/л. Понижение его до 2 мг/л вызывает массовую гибель рыб [11].

Максимальное среднемесячное значение концентрации кислорода в данной акватории в 1999–2010 гг. наблюдалось в марте и составило 11,37 мг/л (рис. 4). Возможное объяснение – увеличение поверхностного стока с суши и усиление интенсивности фотосинтеза в морской воде в ранневесенний период. Наименьшие значения среднемесячных



**Рис. 5.** Зависимость концентрации растворенного кислорода от температуры в поверхностном слое воды прибрежной зоны сухумской акватории Черного моря.

**Fig. 5.** Dependence of the concentration of dissolved oxygen on the temperature in the surface layer of water in the coastal zone of the Sukhum water area of the Black Sea.

концентраций кислорода наблюдаются в октябре и августе и равны соответственно 9,52 и 9,76 мг/л. Среднемесячное распределение кислорода в сухумской акватории Черного моря имеет тенденцию к повышению в зимне-весенний период и уменьшению в летне-осенний период.

Оценка баланса органического вещества как питательной среды фито- и зоопланктона в морских экосистемах и определение особенностей пространственно-временного распределения органического вещества в морской акватории г. Сухум имеет исключительно важное значение для понимания динамики биологических процессов в абхазской акватории Черного моря.

Потребление кислорода в воде связано с химическими и биохимическими процессами окисления органических и некоторых неорганических веществ, а также с дыханием водных организмов. В поверхностных водах величина БПК<sub>5</sub> колеблется в пределах от 0,5 до 3,5 мг/л [11]; она подвержена сезонным и суточным изменениям, которые в основном зависят от изменения температуры и от физиологической и биохимической активности микроорганизмов. Весьма значительны изменения БПК<sub>5</sub> природных водоемов при загрязнении сточными водами.

Из результатов статистической обработки данных следует, что наибольшее сезонное значение БПК<sub>5</sub> в период 1999–2015 гг. наблюдалось летом и составило 1,94 мг О<sub>2</sub>/л, наименьшее – зимой – 1,81 мг О<sub>2</sub>/л (рис. 4). Следовательно, значение БПК<sub>5</sub> в поверхностных водах морской акватории г. Сухум имеет тенденцию к повышению в весенне-летний период, что обусловлено поступлением в воду органического вещества, образуемого фитопланктоном и повышенным значением температуры морской воды в этот период.

Между концентрацией кислорода и температурой воды сухумской акватории Черного моря вычислен коэффициент корреляции, равный  $r = -0,70$  (рис. 5). Наименьшее значение температуры воды приходится на зимние месяцы, в этом же сезоне наблюдаются наибольшие значения растворенного кислорода.

В весенне-летний период коэффициент корреляции между содержанием растворенного кислорода и температурой воды выше, чем в осенне-зимний, что связано со значительным уменьшением концентрации кислорода вследствие прогрева вод и увеличения стратификации в этот период. Коэффициент корреляции колебался в зависимости от сезона года

в широких пределах. Наиболее тесная корреляционная связь наблюдалась летом ( $r = -0,98$ ), слабая корреляционная связь зимой ( $r = -0,1$ ). Весной коэффициент корреляции составил  $r = -0,76$ . В отличие от корреляционной зависимости концентрации кислорода и температуры морской воды положительная корреляция между БПК и температурой воды обнаруживается только в летний период ( $r = 0,78$ ), так как на интенсивность процесса окисления большее влияние оказывает высокая температура воды. Следовательно, выраженная корреляционная связь между концентрацией кислорода, температурой воды и БПК обнаруживается в основном в вегетационный период.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные статистические данные позволили выявить значимую корреляцию среднесезонных и среднемесячных изменений концентраций кислорода, величин БПК<sub>5</sub> с интенсивностью фотосинтеза фитопланктона, несмотря на существующие представления о многофакторности и нелинейном характере связей между ними. Результаты работы могут служить одним из дополнительных критериев оценки экологического состояния морской акватории при использовании ее в рекреационных целях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Степаньян О.В. 2014. Оценка современного состояния экосистемы Черного моря (Республика Абхазия). *Доклады Академии наук*. 454(6): 715–719. doi: 10.7868/S0869565214060218
2. Матишов Г.Г., Степаньян О.В. 2014. Морские исследования у берегов Абхазии. *Природа*. 11: 70–78.
3. Степанов В.Н., Андреев В.Н. 1981. *Черное море: ресурсы и проблемы*. Л., Гидрометеиздат: 160 с.
4. *Справочник по климату Черного моря*. 1974. М., Гидрометеиздат: 406 с.
5. Эжба Я.А., Дбар Р.С., Ахсалба А.К. 2015. Региональные климатические изменения и экологические проблемы Абхазии. *Устойчивое развитие горных территорий*. 4(26): 42–52. doi: 10.21177/1998-4502-2015-7-4-42-52
6. Скопинцев Б.А. 1975. *Формирование современного химического состава вод Черного моря*. Л., Гидрометеиздат: 336 с.
7. Мартин Д.Ф. 1973. *Химия моря*. Л., Гидрометеиздат: 136 с.
8. Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н. 1990. *Методы исследования качества воды водоемов*. М., Медицина: 400 с.
9. Гицба Я.В. 2007. Многолетняя и сезонная изменчивость климатических факторов над абхазской акваторией Черного моря.

Установлено, что в период с 1994 по 2016 г. в связи с региональным потеплением среднегодовая температура поверхностного слоя морской воды повысилась на 0,67 °С. Высокие значения средних годовых температур в 2000, 2007, 2009, 2015 гг. объясняются более ранним, чем обычно, прогреванием поверхностного слоя морских вод, что, вероятно, обусловлено именно региональными изменениями климата.

Между среднегодовой концентрацией кислорода и температурой воды сухумской акватории Черного моря обнаружена зависимость  $r = -0,70$ . Коэффициент корреляции различен в разное время года: в зимний период  $r = -0,1$ , в летний  $r = -0,98$ .

Между БПК и температурой воды положительная корреляционная связь обнаруживается только в летний период ( $r = 0,78$ ), что связано с интенсификацией процессов окисления при повышении температуры воды. Увеличение летних температур поверхностного слоя морских вод на 2–3 °С приводит к уменьшению растворимости кислорода, а потребление его, наоборот, возрастает, поскольку с ростом температуры усиливается активность аэробных бактерий, разлагающих органическое вещество, что является причиной эвтрофирования морских прибрежных вод и ухудшения условий обитания гидробионтов.

*Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*. Спецвыпуск: 66–70.

10. *Проблемы защиты Черного моря от загрязнения (Материалы Межведомственной комиссии по Черному морю)*. 1996. М., РЭФИА: 172 с.
11. Кузьмина И.А. 2007. *Содержание растворенного кислорода в воде: Методические указания к лабораторной работе*. Великий Новгород, НовГУ: 12 с.
12. Гицба Я.В., Дбар Р.С., Эжба Я.А. 2004. Окислительно-восстановительные реакции в черноморской акватории Абхазии. В кн.: *Биологическое разнообразие Кавказа. Труды третьей Международной конференции. Том 2. (Сухум, 11–14 октября 2004 г.)*. Нальчик, изд-во КБНЦ РАН: 34–37.

### REFERENCES

1. Matishov G.G., Matishov D.G., Stepan'yan O.V. 2014. Assessment of the modern state of the Black Sea ecosystem (Republic of Abkhazia). *Doklady Earth Sciences*. 454(2): 213–217. doi: 10.1134/S1028334X14020238
2. Matishov G.G., Stepanyan O.V. 2014. [Oceanographic Studies at Abkhazia Shores]. *Природа*. 11: 70–78. (In Russian).
3. Stepanov V.N., Andreev V.N. 1981. *Chernoe more: resursy i problemy*. [Black Sea: resources and challenges]. Leningrad, Gidrometeoizdat: 160 p. (In Russian).

4. *Spravochnik po klimatu Chernogo morya*. [Handbook of the Black Sea climate]. 1974. Moscow, Gidrometeoizdat: 406 p. (In Russian).
5. Yekba Y.A., Dbar R.S., Akhsalba A.K. 2015. [Regional climate changes and environmental problems of Abkhazia]. *Ustoychivoe razvitie gornyykh territoriy*. 4(26): 42–52. (In Russian). doi: 10.21177/1998-4502-2015-7-4-42-52
6. Skopintsev B.A. 1975. *Formirovaniye sovremennogo khimicheskogo sostava vod Chernogo morya*. [The formation of contemporary chemical composition of the waters of the Black Sea]. Leningrad, Gidrometeoizdat: 336 p. (In Russian).
7. Martin D.F. 1973. *Khimiya morya*. [The chemistry of the sea]. Leningrad, Gidrometeoizdat: 136 p. (In Russian).
8. Novikov Yu.V., Lastochkina K.O., Boldina Z.N. 1990. *Metody issledovaniya kachestva vody vodoemov*. [Methods of research of water quality of reservoirs]. Moscow, Meditsina: 400 p. (In Russian).
9. Gitsba Ya.V. 2007. [Long-term and seasonal variability of climatic factors over the Abkhazian Black Sea]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennyye nauki*. Suppl.: 66–70. (In Russian).
10. *Problemy zashchity Chernogo morya ot zagryazneniya (Materialy Mezhdomstvennoy komissii po Chernomu moryu)*. [Problems of protection of the Black sea from pollution (Materials of the Interdepartmental Commission on the Black Sea)]. 1996. Moscow, Russian Ecological Federal Information Agency: 172 p. (In Russian).
11. Kuz'mina I.A. 2007. *Soderzhanie rastvorennogo kisloroda v vode: Metodicheskie ukazaniya k laboratornoy rabote*. [Content of dissolved oxygen in water: Methodical instructions for laboratory work]. Velikiy Novgorod, Novgorod State University: 12 p. (In Russian).
12. Gitsba Ya.V., Dbar R.S., Ekba Ya.A. 2004. [Redox reactions in the Black Sea area of Abkhazia]. In: *Biologicheskoe raznoobrazie Kavkaza. Trudy tret'ey Mezhdunarodnoy konferentsii. Tom 2*. [Biological diversity of the Caucasus. Proceedings of the Third International Conference. Vol. 2. (Sukhum, Abkhazia, 11–14 October 2004)]. Nalchik, Kabardino-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences: 34–37. (In Russian).

Поступила 24.05.2017